

Выпуск 10

К. М. ВАНСОВСКАЯ
Г. А. ВОЛЯНЮК

ПРОМЫШЛЕННАЯ
ГАЛЬВАНО-
ПЛАСТИКА

Под редакцией
д-ра техн. наук проф. П. М. Вячеславова



Ленинград «Машиностроение»
Ленинградское отделение
1985

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
I. Общие сведения о гальванопластике	4
II. Формы, применяемые в гальванопластике	6
1. Общие сведения о формах	—
2. Постоянные формы	8
3. Разрушаемые формы	11
4. Деформируемые (сплющиваемые) формы	12
5. Отделение форм от осадка	—
III. Подготовка поверхности форм перед осаждением	13
6. Подготовка поверхности металлических форм	—
7. Подготовка поверхности форм из неметаллических материалов	15
IV. Электролиты, применяемые в гальванопластике	18
8. Требования, предъявляемые к электролитам	—
9. Электролиты меднения	19
10. Электролиты никелирования	22
11. Электролиты железнения	26
12. Электролиты для осаждения сплавов	31
V. Физико-механические свойства и структура электроосажденных металлов и сплавов	41
13. Структура и свойства меди	—
14. Структура и свойства никеля	45
15. Структура и свойства железа	53
16. Структура и свойства сплавов	56
VI. Примеры промышленного использования гальванопластики	64
17. Изготовление оригиналов и матриц в производстве граммофонных пластинок	—
18. Сетки, ленты, фольга	70
19. Точные полые детали	75
20. Формообразующие детали пресс форм	90
21. Сферические зеркала, баллоны, зубные протезы	101
Список литературы	103

ВБК 34.663
Б17
УДК 621.387.6

Рецензент канд. хим. наук Б. Г. Карбасов

Вансовская К. М., Волянюк Г. А.

В17 Промышленная гальванопластика/Под ред. П. М. Вячеславова. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. — 105 с., ил. — (Б-чка гальванотехника; Вып. 10).

35 к.

В брошюре рассмотрена технология гальванопластики: приведены сведения о различных формах (моделях), их подготовке перед осаждением металлов, условиях наращивания металлов на формы и способы отклонения форм после электроосаждения. Особое внимание обращено на промышленное применение гальванопластики (изготовление пресс-форм, точных полых деталей, трампастинок и др.). Брошюра предназначена для квалифицированных рабочих, лаборантов и мастеров гальванических цехов.

В 2704070000-266
035(01)-86 266-86

ВБК 34.663
6П4.52

Ксения Михайловна ВАНСОВСКАЯ
Генриетта Андреевна ВОЛЯНЮК

ПРОМЫШЛЕННАЯ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКА

(Б-чка гальванотехника, вып. 10)

Редактор Е. М. Миронченкова
Художественный редактор С. С. Венедиктов
Технические редакторы П. В. Шиканова, Т. М. Жилич
Корректор Т. Н. Гринчук
Обложка художника В. Э. Нефедовича

ИБ № 3714

Слано в набор 18.12.85. Подано в печать 20.03.86. М-14366. Формат 6х9(10х14). Бумага кн.-журн. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 5,46. Усл. кр.-отт. 3,46. Уч.-изд. л. 6,53. Тираж 20 000 экз. Заказ № 840. Цена 35 к.

Ленинградское отделение ордена Трудового Красного Знамени издательства «Машиностроение». 191065, Ленинград, ул. Дзержинского, 10.

Ленинградская типография № 2 головное предприятие ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгения Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 190052, г. Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 23.

Отпечатано в ППО 1-8, Пушкинское производство

© Издательство «Машиностроение», 1986 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние двадцать лет возрос интерес к гальванопластике в промышленности нашей страны и за рубежом из-за потребности производства в новых изделиях из металлов и сплавов со специальными свойствами.

Достижения в области электроосаждения металлов и сплавов в гальванопластике позволили получать изделия из материалов с разнообразными физико-механическими, электрическими, магнитными и антикоррозионными свойствами, что говорит о значении гальванопластики как технологии будущего, отвечающей требованиям научно-технической революции.

Совершенствование гальванопластического метода изготовления объемных деталей привело к появлению целого ряда особенностей, которые способствовали выделению его в самостоятельный метод, называемый электролитическим формованием. Несмотря на то, что в настоящее время трудно провести четкую границу между гальванопластикой и электролитическим формованием, можно выделить ряд производств, где в основном используется главное преимущество гальванопластического копирования — высокая точность воспроизведения поверхности формы. Сюда относится производство матриц для трампастинок, клише, валков для тиснения кож, металлических сеток, копий с произведений искусства. При электролитическом формовании необходимо получить не только точную копию поверхности, на которую ведется осаждение, но и получить детали определенных размеров, обладающие специальными физико-химическими и механическими свойствами. В связи с этим особое внимание заслуживают такие вопросы, как конструирование форм, а также выбор составов и режимов электроосаждения металлов, обеспечивающих получение отложений с требуемыми свойствами.

В брошюре приводятся наиболее интересные примеры промышленного использования гальванопластики.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГАЛЬВАНОПЛАСТИКЕ

Гальванопластика — это процесс получения точных металлических копий путем электроосаждения металла [2, 12, 18]. Однако в последние годы наряду с изготовлением точных металлических копий широкое применение получил способ изготовления объемных деталей, не преследующий цели снятия копий. Следовательно, более точное определение: «Гальванопластика — это получение или воспроизведение предмета электроосаждением».

Различие между гальваностегией и гальванопластикой заключается в том, что в гальваностегии добиваются наилучшего срачивания осаждаемого металла с катодной основой, а в гальванопластике — полного отделения осаждаемого металла от металла основы. Между технологиями гальваностегии и гальванопластики существуют определенные различия, прежде всего в методах подготовки поверхности к осаждению. В гальваностегии с целью наиболее прочного сцепления металла покрытия с металлом основы осаждение производится на специально подготовленную поверхность, очищенную от окислов и жировых загрязнений. В гальванопластике, наоборот, для легкого отделения металлической копии от металлической формы осаждение производится на поверхность металла, покрытую специальной пленкой, называемой разделительным слоем.

Значительная толщина наращиваемого металла в гальванопластике приводит к необходимости использования электролитов и режимов процессов для скоростного наращивания металла, отличных от тех, которые применяются в гальваностегии. Кроме того, в гальванопластике предъявляются более жесткие требования к структуре осажденного металла и его механическим свойствам, например к внутренним напряжениям, которые должны быть минимальны, в особенности если речь идет о нанесении металла на форму из диэлектрика с тонким проводящим слоем.

В технологической схеме гальванопластики перед основным электролизом предусматривается еще одна электрохимическая операция, которая называется «затяжкой». Под затяжкой понимают первичное наращивание металла на проводящий или разделительный слой до полного их закрытия. Составы электролитов и режимы электролиза для процесса затяжки значительно отличаются от основных электролитов.

Как это было отмечено, технология гальванопластики применяется не только в современном производстве для получения точных копий с поверхности предметов, но является также методом

изготовления деталей определенных форм и размеров, обладающих специальными физико-химическими свойствами. Поэтому особое внимание приобретают вопросы конструирования форм, а также выбор металлов и сплавов, обеспечивающих получение осадков с требуемыми свойствами.

Таким образом, в гальванопластике уделяется большое внимание следующим видам работ, отсутствующим в гальваностегии: изготовлению форм; нанесению проводящего слоя (или разделительного); первичному электроосаждению металла (затяжке); скоростному наращиванию металла в основном электролите; механической обработке для удаления технологических припусков, наростов и излишков металлического осадка на отдельных участках покрытой формы; отделению форм от осадка.

В машинно- и приборостроении применяют гальванопластические формы для прессования из пластмасс зубчатых колес, колец, рефлекторов и т. д. Весьма широкое применение нашла гальванопластика в производстве грампластинок при изготовлении никелевых матриц.

В радиотехнической и электронной промышленности широкое применение получили гальванопластическое изготовление волноводных узлов, получение фольги. Методом гальванопластики изготавливают трубы различного диаметра, коробки для аккумуляторов, сопла и другие детали. Широкие возможности гальванопластики позволяют изготавливать тонкостенные легкие полые изделия сложной формы и высокой точности для авиации и космонавтики. В качестве примеров можно назвать изготовление накопечников и протекторов элементов антиобледенительной защиты контуров винтов самолетов и вертолетов, трубок Пито и Вентури, деталей ракетных двигателей, аэродинамических труб, диффрагм для ракет, криогенных сосудов давления, рефлекторов, сильфонов.

Различные отрасли промышленности нуждаются в большом количестве разнообразных сетчатых изделий (сита, решетки, бесшовные сетчатые трубы, сетки для электрообиты, перфорированные гильзы). Метод гальванопластики дает возможность получать точные размеры отверстий в сочетании с большой прочностью всего изделия и может обеспечить полную автоматизацию их изготовления. Гальванопластику широко используют для изготовления товаров широкого потребления: кувшинов, абжуров для настольных ламп, мемориальных досок и табличек с надписями, фильтров для выжимания плодово-ягодных соков, колпачков авторучек, фурнитуры, брошек, пуговиц, барельефов и медальей.

ФОРМЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ГАЛЬВАНОПЛАСТИКЕ

1. Общие сведения о формах

Формой в гальванопластике называют специально изготовленный образец, с которого снимают готовые изделия. При изготовлении форм встречаются два принципиально различных метода: 1) форма готовится как промежуточная копия (слепок) с имеющегося оригинала с тем, чтобы электроосажденный слой металла, отделенный от формы, полностью соответствовал оригиналу; 2) форма готовится путем непосредственной обработки материала по чертежу. В отдельных случаях формой служит готовая деталь или изделие.

Выбор материала форм, конструирование и изготовление их являются наиболее ответственными стадиями в технологии гальванопластики. Формы могут быть выполнены из самых разнообразных материалов — металлов и сплавов, пластмасс, восковых композиций, гипса, дерева, стекла и т. д.

В зависимости от конфигурации изготавливаемых деталей формы делятся на постоянные и разрушаемые. Постоянные формы применимы, как правило, для изделий простой конфигурации. Для получения деталей сложной формы чаще используются разрушаемые формы. Однако в настоящее время для изготовления сложнопрофилированных деталей все чаще применяют постоянные составные (разъемные) формы.

При конструировании форм необходимо избегать наличия острых углов и граней и глубоких выемок. Это требование обусловлено тем, что при электроосаждении металлов происходит неравномерное распределение осадка по поверхности катода. Вследствие этого на острых гранях и углах образуются наросты металла в виде дендритов, а в углублениях, наоборот, слой осадка очень тонок. При силовых нагрузках на детали при отделении их от формы они легко разламываются по причине «угловой слабости» (рис. 1). Для предотвращения угловой слабости следует предусматривать округление контура, при этом наименьшее значение радиуса выступающих углов должно быть ~ 1 мм, а внутренних — не менее толщины стенки изготавливаемой детали. В некоторых случаях в острый угол вставляется специальная вставка, которая в дальнейшем срачивается с осаждаемым слоем металла.

Другим способом уменьшения угловой слабости является подпайка электроосажденного слоя металла. С увеличением рас-

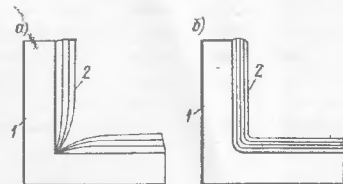
свояющей способности электролита его угловая слабость уменьшается.

При изготовлении форм, состоящих из нескольких частей, необходимо осуществлять их тщательную подгонку. Зазоры в местах стыка не должны превышать 0,01 мм, в противном случае в местах стыка невозможно получить сплошной слой осадка.

Для обеспечения легкого съема деталей следует предусматривать уклоны в сторону съема на постоянных формах в пределах до 0,025 мм. В тех случаях, когда конструкция детали исключает возможность уклона, формы необходимо изготавливать из

Рис. 1. Форма, угол которой не имеет радиуса скругления (а); форма с углом, имеющим радиус скругления (б);

1 — форма; 2 — гальванический осадок



материала с низким коэффициентом теплового расширения, чтобы путем нагрева обеспечить различное расширение осадка и формы.

При изготовлении деталей сложной конфигурации возникает необходимость использования непроводящих экранов, дополнительных анодов, для установки которых также следует предусмотреть определенные участки на формах. Эти специальные участки необходимы и для установки форм на станках с целью обрезки, шлифования и иной механической обработки наращенного слоя. В некоторых случаях необходимо предусмотреть участки на формах для приложения механических усилий при отделении их от осадка.

Шероховатость поверхности снимаемой копии определяется шероховатостью поверхности формы. Кроме того, следует иметь в виду, что чем меньше шероховатость поверхности формы, тем легче происходит отделение и съем полученной детали. Выбор материала формы определяется допусками на размеры изготавливаемой детали, а также требованиями к ее качеству. При изготовлении детали с жесткими допусками на размеры форма должна быть выполнена из твердых материалов, не подвергающихся деформации и усадке как в процессе ее изготовления, так и при последующей ее эксплуатации. При выборе материала постоянных форм основным критерием является легкость их отделения от осадка и срок службы. Поэтому необходимо учитывать

механические, физические и химические свойства материала, выбранного для изготовления форм.

Большое внимание обращается на механические свойства форм. Материал форм должен обладать достаточными твердостью, пластичностью, вязкостью, износостойкостью. Физико-химические свойства материала формы подбирают так, чтобы он выдерживал агрессивное воздействие растворов, не подвергался коррозионному разрушению и не взаимодействовал с материалом копии. Материал, используемый для изготовления форм, должен обладать способностью образовывать на поверхности пассивные пленки, препятствующие сцеплению основы с осаждаемым металлом. При выборе материала форм необходимо учитывать его стоимость и дефицитность, так как стоимость изделия, полученного методом гальванопластики, определяется главным образом стоимостью формы. В свою очередь, стоимость форм значительно снижается, если их можно изготовить литьем или прессованием, и повышается в случае применения механической обработки.

2. Постоянные формы

Для изготовления постоянных форм применяются различные материалы, например коррозионно-стойкие стали, медные, никелевые и титановые сплавы, стекло, пластмассы. Эти материалы обладают достаточно высокими механической прочностью и коррозионной стойкостью, а также устойчивы к износу при многократных съемах изращенных копий. Формы из этих материалов изготавливают обычно механической обработкой, что значительно увеличивает их стоимость. Поэтому использование их наиболее эффективно при массовом выпуске деталей.

Для изготовления постоянных форм наиболее широко применяют коррозионно-стойкие стали типа 12Х18Н10Т и 12Х18Н9Т. Такие формы обладают высокой коррозионной стойкостью при соприкосновении с электролитами, не требуют разделительного слоя, так как поверхность их имеет естественную окисную пленку.

Недостатками стали 12Х18Н10Т являются ее вязкость и сравнительно небольшая твердость, что затрудняет механическую обработку. Кроме того, она немагнитна и не поддается термической закалке. При изготовлении форм из стали этой марки обычно трудно достичь малой степени шероховатости поверхности и точности размеров. Недостатком форм из коррозионно-стойкой стали является также высокая стоимость материала. Поэтому формы из этих сталей следует использовать только при наращивании металлов из кислых электролитов, чтобы избежать коррозии форм.

В тех случаях, когда можно наращивать металлы из щелочных электролитов, целесообразно использовать хромистые инструментальные и конструкционные стали 40Х13, 30Х13, 20Х13, 38, стали 10, 20 и 45. Благодаря высокой твердости хромистых и инструментальных сталей изготовление форм из них упрощается. Кроме того, простые хромистые и инструментальные стали значительно дешевле, чем коррозионно-стойкие, и легко поддаются закалке.

Недостатком инструментальных сталей является их низкая коррозионная стойкость в различных электролитах, требующая создания на поверхности форм защитных слоев, предохраняющих металл от коррозии.

Обычные марки стали требуют нанесения на их поверхность разделительных слоев, чтобы обеспечить легкое отделение осадка от формы. Наиболее часто в качестве разделительного слоя используют хромовое покрытие толщиной 2–5 мкм.

В некоторых случаях формы из обычных и хромистых сталей покрывают тонким слоем меди в щелочных электролитах, которые не оказывают вредного влияния на их поверхность. Такой слой меди является своеобразной защитной рубашкой, предохраняющей форму от воздействия кислых электролитов. Толщина защитного слоя в зависимости от процесса составляет 30–50 мкм.

Титановые сплавы так же, как и коррозионно-стойкие стали, имеют на поверхности пассивную пленку, являющуюся естественным разделительным слоем и препятствующую прочному сцеплению осадка с основой.

Главным преимуществом титановых сплавов является их высокая прочность, что позволяет изготавливать из них формы большой длины с малым поперечным сечением. Титановые сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью в ряде электролитов. Другим преимуществом форм из титана является их легкость, что особенно важно при изготовлении деталей больших габаритов. Недостатками являются высокая стоимость и трудоемкость обработки титановых сплавов.

В тех случаях, когда требуется изготовить формы из материала с низким коэффициентом теплового расширения, используются никелевые сплавы (инвар и ковар).

Для изготовления форм с высокой точностью обработки поверхности применяют медь и медные сплавы (латунь и бронза). Наиболее часто эти материалы используются для изготовления форм, предназначенных для прецизионного электролитического формования. Поскольку медь и медные сплавы подвержены коррозии в процессе электролиза, формы из этих материалов

покрывают хромом с целью защиты от коррозии, повышения твердости и получения разделительного слоя. Толщина слоя хрома составляет не менее 10 мкм. Недостатками форм из меди и ее сплавов являются невысокие механические характеристики и высокая стоимость.

В последнее время в качестве постоянных форм стали применять алюминиевые сплавы, например, дюралюминий. Основным преимуществом алюминиевых форм является то, что они легко подвергаются различным видам механической обработки и могут быть изготовлены литьем.

Алюминиевые формы легки, что особенно ценно при изготовлении крупногабаритных деталей.

Недостатком формы из алюминия является их малая твердость. Поэтому постоянные формы из алюминия используются только в тех случаях, когда допустимо отклонение от размера детали в пределах нескольких микронов.

Для изготовления постоянных форм применяют также стекло и различные полимерные материалы. Стеклянные формы позволяют получать детали с минимальной степенью шероховатости (рефлекторы, сферические зеркала). Основными недостатками стеклянных форм являются высокая стоимость и хрупкость.

В последнее время в качестве постоянных форм стали применять различные пластмассы, что позволяет значительно снизить стоимость изготовления деталей. К преимуществам форм из пластмасс следует отнести их химическую стойкость в различных растворах и возможность изготовления их литьем или прессованием. Недостатком форм из пластмасс является их низкая механическая прочность. Кроме того, формы из пластмасс не могут быть использованы при изготовлении деталей с жесткими допусками на размеры вследствие усадки материала.

Материалом для таких форм наиболее часто служат композиции на основе эпоксидных и мочевиноформальдегидных смол. Значительный интерес представляют формы, полученные из токопроводящих пластмасс, так как в этом случае не требуется нанесения специальных электропроводящих слоев. В последнее время в качестве материала форм нашли применение силиконовые каучуки. Этот материал обладает ценным комплексом свойств: отверждается при комнатной температуре, имеет очень малые усадку и пористость, устойчив в электролитах, легко металлизирован, не имеет адгезии к электроосажденным металлам, а также прочен и эластичен.

3. Разрушаемые формы

Разрушаемые формы служат для гальванопластического приготовления единичных деталей, поэтому для изготовления форм используют только недорогие материалы. Разрушаемые формы можно разделить на четыре группы: вытравляемые; выплавляемые; растворимые; разрушаемые механическим путем.

Для вытравляемых форм наиболее часто используют алюминий и его сплавы, которые хорошо растворимы в растворах гипроксид натрия (горячих) и соляной кислоты (150—200 г/л).

Алюминиевые сплавы легко подвергаются механической обработке, что позволяет изготавливать формы с жесткими допусками на размеры и малой степенью шероховатости поверхности.

К недостаткам вытравляемых форм из алюминия относятся длительность их растворения, а также более высокая стоимость по сравнению с другими материалами.

Для изготовления форм могут быть использованы сплавы сплавов, Д16, Д17, Д6, Д7, алюминий марки АД1. Кроме алюминиевых сплавов для изготовления вытравляемых форм применяют сплавы на основе цинка, например сплав марки ЦАМ, содержащий 78 % Zn, 0,2—0,5 % Mg, 1 % Cu и остальное алюминий. Этот сплав хорошо воспроизводит профиль формы и подвергается литью. Стоимость сплава невысока, вытравление сплава ЦАМ производится в холодном 1 %-ном растворе соляной кислоты.

Выплавленные формы могут быть изготовлены из материалов, которые могут быть утратены при сравнительно низких температурах без опасения деформации самой детали. К таким материалам относятся легкоплавкие металлические сплавы и восковые композиции, обладающие хорошими литейными свойствами и используемые повторно после выплавления в горячей воле или силиконовом масле. Но вследствие большой усадки этих материалов они не используются для изготовления деталей с жесткими допусками на размер.

Преимуществом форм из легкоплавких сплавов по сравнению с восковыми является их электропроводность и меньшая усадка. Большинство легкоплавких сплавов, имеющих низкую точку плавления (60—140 °C), содержат (кроме олова и свинца) от 35 до 50 % висмута, который является причиной хрупкости осаждаемых никеля или меди. Поэтому в литературе рекомендуется использовать сплав, содержащий 92 % олова и 8 % цинка. Этот сплав может быть отлит в пресс-формы, что позволяет получать формы с чистой поверхностью. Выплавление сплава из

готовой детали производится при температуре 250°C, при этом деформации деталей из меди и никеля не наблюдается.

Формы из восковых композиций наиболее дешевы и просты, они нашли применение в промышленности особенно при изготовлении крупногабаритных деталей с толстыми стенками. Для отливки форм используют различные восковые композиции, например смесь, содержащую 70 % пчелиного воска, 10 % парафина, 16 % графита, 4 % скипидара. Другая безусадочная композиция содержит 70 % канифоли, 10 % парафина и 20 % пчелиного воска. Масса, идущая на изготовление форм, может быть использована многократно.

Для изготовления растворимых форм используют различные пластические массы: акрилаты, полистирол и др. Пластмассовые формы могут быть изготовлены как путем непосредственной обработки заготовки, так и путем снятия оттиска копии с металлического оригинала размягченной пластмассой. Применяются также методы литья и прессования. Пластмассовые формы после электроосаждения металлов растворяют в органических растворителях, например в трихлорэтилене. Растворение форм из органического стекла производится в хлороформе, ацетоне, бензоле. Формы из полистирола растворяются в спирте. К этой же группе форм относятся формы, разрушаемые механическим путем, например ударом молотка или с помощью гидравлического пресса (гипсовые формы), а также выскребываемые с последующим химическим растворением остатков металла (сплава) в кислотах или щелочах.

4. Деформируемые (сплющиваемые) формы

Основной частью деформируемой формы является оболочка, обладающая определенной эластичностью, позволяющей извлечь ее из осаждающей детали. Для изготовления таких форм часто используют поливинилхлорид, из которого методом литья получают оболочку требуемых величины и конфигурации. Эту оболочку заполняют восковой композицией, чтобы сделать форму более твердой и тяжелой. Для удаления формы из готовой детали расплавляют воск и затем вытаскивают пластмассовую оболочку, которая может многократно использоваться.

Недостатком использования таких форм является сравнительно небольшая точность изготовления деталей.

5. Отделение форм от осадка

Способы отделения готовых деталей от формы, на которую велось осаждение, зависят прежде всего от ее характера и мате-

риала. Постоянные формы могут быть удалены из деталей с помощью различных механических методов, например путем давления в торец осаждаемого слоя металла с помощью различных механизмов (гидравлический пресс и др.) или отделением осадка от основы с помощью острого ножа или долота (для плоских деталей) и др.

Кроме чисто механических методов используют также нагрев или охлаждение в воде, однако этот метод эффективен при достаточно большой разнице между коэффициентами линейного расширения материалов формы и детали. В некоторых случаях требуется больший нагрев или охлаждение, что достигается с помощью паяльной лампы или путем погружения в смесь сухого льда и органического растворителя.

Предложен также способ отделения готовых деталей с помощью электромагнита. В этом случае форма должна быть выполнена из слабомагнитного материала или же детали из немагнитных материалов должны быть предварительно покрыты слоем магнитного материала. Для мелких изделий достаточная толщина магнитного слоя составляет 5—10 мкм.

III

ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ ФОРМ ПЕРЕД ОСАЖДЕНИЕМ

6. Подготовка поверхности металлических форм

Поверхность металлических форм обычно подвергают механической полировке. Однако после нее на поверхности остаются следы полировочных паст, поэтому производится очистка, которая включает в себя обезжиривание в органических растворителях и щелочных растворах.

Органические растворители подразделяют на две группы: горючие и негорючие. К первым относятся бензол, толуол, этиловый спирт, уайт-спирит, ко вторым — хлорпроизводные: дихлорэтан, трихлорэтан, тетрахлорэтан, четыреххлористый углерод. При работе с горючими растворителями необходимо соблюдать меры осторожности; на некоторых производствах их применение запрещено. Более эффективными обезжиривающими свойствами обладают хлорированные углеводороды. Однако эти растворители весьма токсичны и требуют герметичных камер. В последнее время для обезжиривания начали широко применять фреон (хладоны 113).

Обезжиривание в органическом растворителе является предварительной операцией, полное удаление жировой пленки ведется в щелочных растворах. Для щелочного обезжиривания стальных форм применяют раствор тринатрийфосфата, так как гидроксид натрия вызывает растравливание их поверхности. Для ускорения процесса применяется электрохимическое обезжиривание на аноде в растворе, содержащем 45 г/л тринатрийфосфата, при температуре 65—80 °C и плотности тока 5 А/дм² в течение 1 мин.

Стальные формы с малой шероховатостью поверхности чаще всего обезжиривают венской известью, смоченной водой, избегая этих растравливания полированной поверхности.

Схема подготовки поверхности форм из никелевых сплавов (инвар, ковар) аналогична схеме подготовки форм из сталей. Обезжиривание форм из меди и медных сплавов может осуществляться протиркой их венской известью с последующей электрохимической обработкой в растворах, не содержащих гидроксида натрия.

Формы из легкоплавких сплавов сначала обрабатывают в органических растворителях, а затем производят катодное обезжиривание в растворе, содержащем 45 г/л тринатрийфосфата, в течение 30 с.

За операцией обезжиривания следует тщательная промывка в воде и затем активация. Для активации стальных форм применяют 5 %-ные растворы соляной и серной кислот. Активацию поверхности форм из никелевых сплавов производят обычно в 10 %-ном растворе серной кислоты. При электролитическом формировании деталей с жесткими допусками на размеры (например, волноводные каналы) активацию в растворах кислот не производят. Для активации поверхностей форм из легкоплавких сплавов используют 1—3 %-ные растворы серной или сульфамовой кислоты. Время обработки составляет 2—5 с. Температура раствора 18—25 °C. Сплавы, содержащие свинец, активируют в 1—10 %-ном растворе борфтористоводородной кислоты в течение нескольких секунд при температуре 18—25 °C.

После промывки в холодной воде осуществляется нанесение разделительного слоя. Разделительные слои наносятся на поверхности форм, чтобы предотвратить прочное сцепление осадка металла с основой. Толщина разделительного слоя должна быть минимальной, чтобы не искажать размеры получаемых деталей и не препятствовать прохождению электрического тока. Разделительный слой не должен растворяться в электролите. В качестве разделительных слоев используют пленки сульфидов, хроматов, нитратов и других химических соединений. Сульфидные

пленки получают при обработке форм из меди, стали и никеля в 1 %-ном растворе сульфида натрия. Хроматные пленки образуются на стальных, никелевых, латунных основах путем обработки их 0,1 %-ным раствором бихромата калия.

Для насививания форм из легкоплавких сплавов применяют раствор, содержащий 6 г/л бихромата натрия и 9 мл/л концентрированной серной кислоты (плотность 1,84) при температуре 60 °C и времени обработки 30 с.

Хорошим разделительным слоем могут служить также естественные окисные пленки, которые образуются на поверхности форм, изготовленных из коррозионно-стойких сталей и титановых сплавов, а также хромовое покрытие, полученное электрохимическим способом.

Разделительными слоями также являются масляные и восковые пленки, получаемые путем притирания щеткой или методом погружения. Механическим способом можно нанести на формы тонкие слои графита или дисульфида вольфрама. Пленки, полученные механическими методами, в большей степени искажают размеры форм, чем пленки, полученные химическими способами, поэтому они могут быть использованы лишь при изготовлении деталей с большими допусками на размеры.

Технология подготовки поверхности форм из алюминия и его сплавов имеет свои особенности. При подготовке разрушаемых форм производят цинкятную обработку, которая позволяет получить плотные осадки без отслаивания и вздутий. Применяется следующая последовательность операций: обезжиривание в органическом растворителе, травление в щелочном растворе, содержащем 20 г/л кальцинированной соды и 30 г/л тринатрийфосфата, при 60 °C в течение 15 с; осветление в 15 %-ном растворе азотной кислоты (10—15 с), цинкятная обработка в растворе, содержащем 500 г/л гидроксида натрия и 100 г/л окиси цинка, при 18—25 °C в течение 2 мин; растворение цинкятной пленки в 15 %-ном растворе азотной кислоты при 18—25 °C в течение 15—20 с; повторная цинкятная обработка. После каждой операции производится промывка формы в воде.

Постоянные формы из алюминия и его сплавов не требуют цинкятной обработки. В этом случае форма подвергается термической обработке, анодированию и меднению в кислом электролите.

7. Подготовка поверхности форм из неметаллических материалов

Подготовка поверхности форм из неметаллических материалов состоит из следующих операций: обезжиривание, сенсибили-

зация, активация, металлизация, затяжка. Если форма является постоянной, то необходима операция нанесения разделительного слоя.

Выбор растворов для обезжиривания зависит от свойств материала формы. Обезжиривание форм из непластичных материалов осуществляют в органических растворителях или в щелочных растворах, применяют также протирку ветошью и ветошью. Для обезжиривания подбирают такие растворители, которые не взаимодействуют с материалом формы. Формы из эпоксидного компаунда хорошо обезжириваются ацетоном, а формы из органического стекла — водным раствором смачивателя ИВ (Нексил).

Наиболее простым и удобным способом создания токопроводящих слоев на поверхности неметаллических форм является химическая металлизация. В настоящее время химическим способом могут быть получены осадки никеля, меди, серебра, золота, палладия, платины и других металлов. Пленки, полученные химическим восстановлением, имеют толщину от десятых долей микрона до нескольких десятков микронов.

Более детальные сведения о процессах нанесения химических покрытий приведены в выпуске № 7 «Библиотечки гальванотехника».

Удобным и весьма производительным способом получения токопроводящих слоев на формах из неметаллов является металлизация в вакууме путем конденсации паров металла на покрываемой поверхности. К недостаткам металлизации в вакууме относятся необходимость применения более дорогостоящей аппаратуры.

В последнее время для металлизации неметаллических материалов применяют токопроводящие эмали на основе карбонильного никеля. Но при этом наблюдается заметное искажение размеров форм, поэтому эмали не используют при производстве форм для изготовления точных деталей.

Наиболее доступным методом нанесения токопроводящего слоя является графитирование. Графитирование производят сухим или мокрым способом. В первом случае графит наносят на поверхность мягкой кистью и растирают до появления металлического блеска. Во втором случае графитовый порошок используют в виде водной суспензии, содержащей 200—300 г/л графита, которую наносят на форму. После просушивания графит остается на поверхности формы, а избыточная его часть удаляется щеткой.

Недостатками графитирования являются низкая электропроводность получаемой пленки и искажение размеров металлизирова-

емых форм. Поэтому графитирование используется лишь для деталей с большими допусками на размер.

Для нанесения токопроводящих слоев используют металлические порошки, например медь и медные сплавы (бронза), которые обычно наносятся на восковые формы с помощью кисти. Электропроводность слоя металлического порошка выше, чем слоя графита, но размеры формы искажаются в большей степени.

Известны методы получения проводящего слоя путем нанесения пленок сульфидов серебра и свинца. Для получения пленки сульфида серебра форму обмывают раствором серебра, после чего обрабатывают сероводородом. Пленки сульфида свинца получают при смешивании водного раствора ацетата или нитрата свинца с раствором тиомочевны в присутствии щелочи. При этом образующийся initially белый гидроксид свинца быстро темнеет и спустя короткое время превращается в черный сульфид свинца. Для получения такой пленки к раствору, содержащему 20—30 г/л тиомочевны, добавляют при непрерывном помешивании раствор соли свинца (1—2 г/л) и 20—30 г/л гидроксида калия при температуре 60—70 °С в течение 45—60 мин.

Близкими свойствами обладают проводящие пленки из сульфида меди, осаждаемого из раствора следующего состава (г/л): сульфат меди — 5, ацетат натрия — 150, тиомочевина — 1—1,5 при температуре 60—70 °С в течение 45—60 мин.

Перспективным является адсорбционный метод нанесения токопроводящих сульфидных пленок. При использовании этого метода поверхность форм после обезжиривания последовательно обрабатывают раствором сульфата меди, воды и сульфидирующего агента [7]. Электропроводность проводящих слоев в данном случае можно регулировать, изменяя количество погружений в указываемых растворах. Достоинствами адсорбционного метода нанесения токопроводящих слоев являются стабильность применяемых растворов, возможность обработки форм из различных диэлектриков, дешевизна и доступность применяемых материалов, высокая точность воспроизведения поверхности формы.

После нанесения токопроводящего слоя формы тщательно промывают водой и переносят в ванну первичного покрытия, где закрепевают их под током. Необходимость нанесения первичного слоя вызвана тем, что формы, покрытые тонким проводящим слоем, могут разрушаться при сильном перемешивании и подогреве в очень кислых растворах.

Поэтому операция затяжки проводится в слабокислых электролитах при низких плотностях тока без перемешивания. По этим соображениям целесообразно проводить полное наращива-

ние толстых слоев металла при таком режиме. Обычно процесс затравки продолжается от 30 мин до 1 ч и по достижении толщины металла 10–15 мм форму переносят в ванну с концентрированным электролитом, работающую с перемешиванием и допускающую более высокие плотности тока.

IV

ЭЛЕКТРОЛИТЫ ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ГАЛЬВАНОПЛАСТИКЕ

8. Требования, предъявляемые к электролитам

Основными требованиями к электролитам в гальванопластике являются заданные физико-химические и механические свойства осадков: высокая скорость осаждения металла, равномерное распределение металла по поверхности катода, стабильность электролита.

Известно, что при электроосаждении металла даже сравнительно небольшие изменения в составе электролита и режиме электролиза приводят к изменению физико-химических характеристик. Так, изменение pH сульфатного электролита никелирования с 4 до 6 позволяет повысить твердость, предел прочности и внутреннее напряжение никелевого осадка. В еще большей степени на свойства осадков влияет замена одного электролита другим. Так, осадки меди, полученные из сульфатного электролита, имеют твердость 850–1000 МПа и предел прочности 120–290 МПа, тогда как осадки из цианистого электролита — соответственно 1500–2300 МПа и 260–390 МПа.

Для интенсификации процесса наращивания толстых слоев металла в гальванопластике используются электролиты, позволяющие вести процесс электроосаждения при высоких плотностях тока, с использованием высококонцентрированных по металлу электролитов, а также с движением формы в процессе осаждения. В последнее время с этой же целью применяются различные виды токов: реверсирование тока, наложение переменного тока на постоянный и др.

Большое значение в гальванопластике имеют вопросы, связанные со стабильностью состава электролита. Стабильные результаты можно получить только при постоянстве всех определяющих параметров процесса электролиза.

Стабильность процесса электролиза прежде всего определяется сбалансированностью катодного и анодного процессов. По-

скольку процесс осаждения металла измеряется многими часами, а иногда и сутками, то могут произойти заметные изменения в составе электролита за счет разницы в катодном и анодном выходах по току. Таким образом, электролит необходимо систематически корректировать. Электролиты, которые требуют частой корректировки состава, мало пригодны для гальванопластических целей.

При изготовлении сложнопрофилированных деталей необходимо учитывать равномерность распределения металла по поверхности формы, а это, в свою очередь, зависит от рассеивающей способности электролита, взаиморасположения формы и анодов, способа подвода тока к катоду. Практически трудно найти электролит, который отвечал бы всем указанным требованиям, поэтому выбор электролита осуществляют с учетом лишь основных особенностей процесса.

В гальванопластике в настоящее время используют довольно ограниченное число металлов и сплавов. Наиболее широко применяют медь, никель и железо, а из сплавов — никель — кобальт и никель — железо.

Электроосаждение сплавов является весьма перспективным процессом, так как позволяет расширить диапазон материалов, пригодных для гальванопластических целей. В ближайшее время получат широкое использование композиционные материалы, содержащие положительные свойства металлов и неметаллов, а также оксидов, карбидов, нитридов и др. [2].

В последнее десятилетие в гальванопластике нашли применение электроосаждение во ванадия, молибдена, ниобия, тангала и других редких металлов из расплавов, а также осаждение алюминия из органических растворов.

9. Электролиты меди

Сульфатный электролит благодаря его стабильности в процессе эксплуатации наиболее широко применяется в гальванопластике. Этот электролит прост по составу, недорог, но обладает низкой рассеивающей способностью, что позволяет применять сравнительно небольшую скорость осаждения металла. Кроме того, к его отрицательным свойствам следует отнести коррозионное воздействие на многие материалы, в том числе и на хромистые стали.

Наиболее широко применяемый электролит имеет следующий состав (г/л)

Сульфат меди (кристаллогидрат)	225–24
С	44–75

При использовании этого электролита следует помнить, что для работы на повышенных плотностях тока следует применять более высокие концентрации меди. Кроме того, надо учитывать, что растворимость сульфата меди заметно уменьшается с увеличением концентрации серной кислоты.

Температура электролита может изменяться от 20 до 40 °C. Катодная плотность тока в зависимости от интенсивности перемешивания электролита равна 3—15 А/дм². Анодный и катодный выходы по току близки к 100 %. Аноды рекомендуется применять из меди марки АМФ (анодная медь фосфорсодержащая); такие аноды растворяются в электролите практически без шлама.

Сульфатные электролиты чувствительны к органическим примесям. Для получения мелкокристаллических осадков в электролиты вводят такие добавки, как желатин, меласса, казеин, клей, этиловый спирт. Некоторые органические примеси, наоборот, вызывают образование грубокристаллических и хрупких осадков. Источником таких примесей могут служить тканевые фильтры и чехлы на анодах. Большие концентрации ионов никеля и железа также вызывают образование хрупких отложений.

Для очистки электролита от вредных органических примесей в него при нагревании до 60 °C вводят 0,1 %-ный раствор перманганата калия и выдерживают в течение нескольких часов, а затем добавляют 1 г/л активированного угля, тщательно перемешивают и оставляют около суток. После фильтрования отстоявшегося электролита рекомендуется проработать его при плотности тока 0,5 А/дм² из расчета 10 А·ч/л.

Значительную скорость выделения металла получают при использовании фторборатных электролитов. Однако фторборатные электролиты, так же как и сульфатные, характеризуются плохой рассеивающей способностью, что затрудняет их использование при изготовлении деталей сложного профиля.

Для производственного использования рекомендуются следующие электролиты (г/л):

Фторборат меди (кристаллогидрат)	600—650
Борфтористоводородная кислота	35—40
Борная кислота	15

Режим электролиза: температура электролита — 18—25 °C; катодная плотность тока — до 10 А/дм².

Увеличение скорости выделения металлов из этих электролитов возможно при одновременном повышении температуры раствора и интенсивности его перемешивания. Хорошие результаты получены при использовании реверсивно-импульсного токового режима. Следует также отметить, что фторборатный электролит ме-

нее стабилен, чем сульфатный, что вызывается недостаточной сбалансированностью катодного и анодного процессов.

Для наращивания медных слоев толщиной до 1 мм на сложноперефигурованных или сборных формах, а также для формирования «защитных рубашек» на формах из материалов, не стойких к кислотным электролитам, используют пирофосфатные и этилендиаминные электролиты. В состав пирофосфатного электролита входят пирофосфат меди и калия, а также добавки аммиака и лимонной кислоты, активирующие анодный процесс.

Для электролитического формирования рекомендуется следующий состав электролита (г/л)

Пирофосфат меди (кристаллогидрат)	90—100
Пирофосфат калия	330—405
Лимонная кислота	8—10
Гидроксид аммония (12 %-ный)	2,5—3

Режим электролиза: pH 8,0—9,0; температура электролита — 55—60 °C, катодная плотность тока — до 2,5 А/дм². Рекомендуется перемешивание электролита (сжатый воздух, прокачка насосом), которое позволит увеличивать катодную плотность тока до 4—5 А/дм².

Пирофосфатные электролиты обладают хорошей рассеивающей способностью, приближающейся к рассеивающей способности цинкисных электролитов. Электролит стабилен в работе и обеспечивает получение мелкокристаллических осадков толщиной до 1 мм.

Пирофосфатные электролиты весьма чувствительны к органическим загрязнениям и поэтому нуждаются в периодической очистке с помощью активированного угля. К вредным примесям относятся также желатоза и свинец при концентрации более 0,1 г/л. К недостаткам пирофосфатного электролита следует отнести также постепенное уменьшение максимально допустимой плотности тока, вызванное уменьшением растворимости комплексной соли меди из-за накопления в растворе фосфатов, образующихся в результате гидролиза пирофосфатов.

Кроме пирофосфатных электролитов для формирования первого защитного слоя применяют также этилендиаминные. Эти электролиты обладают более высокой рассеивающей способностью, чем сульфатные электролиты, но меньшей, чем пирофосфатные. Существенным недостатком этилендиаминных электролитов является их неустойчивость в процессе эксплуатации, поэтому они используются реже, чем пирофосфатные. Однако в некоторых случаях они незаменимы, например в качестве пролонгки,

увеличивающей сцепление между некоторыми гальванопластическими слоями металлов

Литовскими исследователями [7, 10] разработан новый кислотный электролит меднения на основе азотнокислой соли. Этот электролит не оказывает коррозионного воздействия на хромоникелевые и хромистые стали

Хорошая растворимость нитрата меди позволяет значительно поднять рабочую плотность тока. Электролит стабилен в работе. Рассеивающая способность аналогична рассеивающей способности сульфатного электролита

Рекомендуется следующий состав электролита (г/л):

Нитрат меди (кристаллогидрат)	500—600
Хлорид меди (кристаллогидрат)	0,4

Режим электролиза: pH 1—2, температура электролита 18—25 °C; катодная плотность тока 5—20 А/дм².

Введение в состав электролита ионов хлора и добавки хлоридов (0,1 г/л) обеспечивает получение мягких, эластичных, мелкозернистых осадков меди. Периодически в электролит вводится 30 %-ная перекись водорода из расчета 0,2—0,4 мл на 1 л раствора

10. Электролиты никелирования

В гальванопластике широкое применение находит электролитическое осаждение никеля. До последнего времени для этой цели использовали сульфатные и сульфатно-хлоридные электролиты в режиме — фторборатные. В последние годы все больше применяют сульфатные и нитратно-аммониевые электролиты

Наиболее распространенным является сульфатно-хлоридный электролит следующего состава (г/л)

Сульфат никеля (кристаллогидрат)	330
Хлорид никеля (кристаллогидрат)	45
Борная кислота	40

Режим электролиза: pH 1,5—4,5, температура электролита 45—60 °C, катодная плотность тока 3—11 А/дм². Требуется перемешивание электролита сжатым воздухом или движением самой формы

Хлорид никеля вводится для лучшего растворения никелевых анодов, так как они при повышенных плотностях тока склонны к пассивации. Кроме того, одновременно повышается электропроводность, уменьшается пittingобразование и уменьшается рассасывающая способность электролита. Борная кислота является буферной добавкой, ее действие особенно хорошо проявляется при

pH 3,5—4,5. Этот электролит самый дешевый из применяемых никелевых электролитов, однако он также имеет ряд недостатков, например большую чувствительность к различным примесям неорганического (железо, медь, цинк) и органического происхождения

Присутствие меди в электролите приводит к образованию темных осадков. В присутствии ионов цинка на никелевом осадке образуются темные полосы и пятна. Наличие железа в растворе приводит к образованию хрупких растрескивающихся осадков. Влияние органических примесей проявляется многообразно: пitting, хрупкость никеля, снижение выхода по току и др.

Очистка электролита от примесей меди производится путем его длительной проработки при низкой плотности тока (0,1—0,2 А/дм²). Для удаления цинка электролит подщелачивают до pH 6,3 и вводят тонко измельченный мед или известковое молоко. Цинк в форме основной соли оседает на дно емкости. Очистка от железа заключается в окислении Fe(II) в Fe(III) перманганатом калия при нагревании электролита до 70—75 °C и выдержке в течение 4 ч. Железо выпадает в осадок в форме гидроксидов

Для разрушения органических примесей в электролит рекомендуют ежедневно добавлять 30 %-ный раствор перекиси водорода, предварительно подкислив электролит до pH 2,5. Органические загрязнения можно удалить из электролита также путем введения в него активированного угля до 10 г/л и выдержки в течение 12—24 ч при периодическом перемешивании

Для устранения pittingобразования в электролиты никелирования вводят поверхностно-активные вещества, снижающие их поверхностное натяжение. Уменьшение поверхностного натяжения способствует более быстрому отрыву пузырьков водорода от поверхности катода, что предотвращает образование питтинга. В качестве антиpittingдобавок используют натриялаурилсульфат, натриялаурилсульфатацетат или алкиламмониевую соль бензосульфокислоты, имеющей 10—15 атомов углерода в алкильной цепи. Концентрация указанных добавок в электролитах никелирования обычно находится в пределах 0,5—1,0 г/л

Процесс анодного растворения никеля существенно влияет на работоспособность никелевых анодов. Отечественной промышленностью выпускаются аноды в виде полос овального и прямоугольного сечений. Аноды прямоугольного сечения изготавливаются длиной от 400 до 2000 мм и толщиной от 4 до 12 мм. Аноды овального сечения применяют с размерами большой и малой осей овала 80 × 35 мм, длиной от 400 до 1200 мм. Используют

преимущественно горячекатаные аноды марок НПА1 и НПА2 и непассивирующиеся марки НПАИ

Электролитические аноды используются реже, так как в процессе растворения наблюдается их расслаивание, что приводит к заметным потерям никеля.

В Институте химии и химической технологии АН ЛитССР разработан процесс осаждения никеля из щелочного электролита. Введение в сульфатный электролит уксуснокислого никеля сообщает ему хорошие буферные свойства и высокую рассеивающую способность. Электролит работает в диапазоне pH 7–8. Осадки получают малодепрессивные, повышенной твердости. Рекомендуется следующий состав электролита (г/л):

Сульфат никеля (кристаллогидрат)	83–173
Хлорид никеля (кристаллогидрат)	12–33
Нитрат натрия (кристаллогидрат)	120–250
Сульфат аммония	12–26

Режим электролиза: температура 55 °C, катодная плотность тока 1–2 А/дм².

Этот электролит целесообразно использовать в тех случаях, когда формы изготовлены из материалов, подвергающихся коррозии в кислых электролитах.

Из фторборатных никелевых электролитов получают мелкокристаллические осадки, обладающие высокой пластичностью и меньшими внутренними напряжениями по сравнению с сульфатными электролитами. Анодный и катодный выходы по току в данных электролитах близки к 100 % и фторборатные электролиты могут работать при более высоких плотностях тока, чем сульфатные. Фторборатные электролиты стабильны, так как обладают хорошей буферной способностью, обеспечивающей малое изменение pH при электролизе. Кроме того, эти электролиты имеют меньшую тенденцию к дендритообразованию. Фторборатные электролиты менее чувствительны к загрязнениям другими металлами (Zn, Fe), чем сульфатные.

Недостатком фторборатных электролитов является их повышенная стоимость по сравнению с сульфатными и хлоридными электролитами. Однако благодаря своим преимуществам фторборатные электролиты используются для гальванопластического изготовления деталей.

Для использования рекомендуется следующий состав электролита (г/л):

Фторборат никель	300
Горьковистоводородная кислота	4–33
Борная кислота (свободная)	30

Режим электролиза: pH 2,0–3,5; температура электролита 40–80 °C, катодная плотность тока 4–10 А/дм².

Наиболее широкое применение для электролитического формирования деталей из никеля за последние 10–15 лет получили сульфатные электролиты. Это объясняется тем, что в данных электролитах можно вести процесс при больших плотностях тока и получаемые осадки имеют небольшие внутренние напряжения мелкозернистую структуру, они гладкие, эластичные и более светлые, чем осадки из других электролитов.

Растворимость сульфата никеля в воде значительно выше, чем сульфата никеля. Это позволяет применять электролиты с большой концентрацией сульфата никеля (от 300 до 650 г/л), что и обеспечивает возможность осаждения металла при высоких плотностях тока.

Стоимость сульфата никеля несколько больше стоимости сульфата никеля, однако качество получаемых деталей вполне оправдывает большие затраты.

Вторым компонентом, присутствующим во всех разработанных электролитах, является борная кислота, выполняющая роль буферной добавки. Относительно влияния концентрации борной кислоты в электролитах определенного мнения нет. Считают, что оптимальное ее содержание 30–35 г/л. Следует учесть, что при содержании борной кислоты около 40 г/л в электролитах при температуре ниже 20 °C она выкристаллизовывается из раствора и забивает фильтры.

Присутствие ионов хлора в сульфатных электролитах так же как и в сульфатных, необходимо для устранения пассивации никелевых анодов. Обычно в сульфатные электролиты добавляют хлорид никеля в количестве от 4 до 30 г/л. Оптимальная концентрация хлорида никеля зависит от типа используемых анодов и условий осаждения (pH и температуры электролита, степени перемешивания, плотности тока).

Из чистых сульфатных электролитов получают матовые, бархатистые, относительно мягкие и пластичные осадки с твердостью 200HV. Однако эти электролиты, так же как и сульфатные, очень чувствительны к различным примесям. Влияние примесей сказывается в основном на изменении величины внутренних напряжений, которые под их влиянием могут переходить из напряжений растяжения, характерных для чистых никелевых осадков, в напряжения сжатия. Концентрация $[Cu]^{2+}$ и $[Zn]^{2+}$ не должна превышать 0,2 г/л $[Fe]^{2+}$ —0,5 г/л, $[CrO_4]^{2-}$ —0,04 г/л, щелочных и щелочно-земельных металлов — не более 1 г/л.

Для повышения твердости и механической прочности и снижения внутренних напряжений в осадках никеля, получаемых из сульфатных электролитов, в них вводят специальные добавки, например сахарин. Однако работа с добавками требует особой осторожности, так как в процессе электролиза они могут окисляться на аноде и восстанавливаться на катоде. Продукты распада добавок могут включаться в осадок, ухудшая его качество.

Сульфаматные растворы характеризуются очень высоким поверхностным натяжением, что приводит обычно к образованию пittingа. Поэтому работа с ними без добавок, понижающих поверхностное натяжение, практически невозможна. Для предотвращения пittingа в сульфаматные электролиты добавляют обычно лаурилсульфат натрия или моющую жидкость «Прогресс».

Следует учитывать, что поверхностно-активные добавки могут адсорбироваться на поверхности катода и теряться при фильтрации. Учитывая, что при гальванополастическом осаждении металла чаще всего производится фильтрация электролитов, требуется периодически добавлять в них необходимое количество лаурилсульфата натрия. На каждые 7 А ч, прошедших через литр раствора, расходуется 0,01 г лаурилсульфата натрия.

Для электролитического формирования деталей рекомендуется следующий состав электролита (г/л):

Сульфамат никеля (кристаллогидрат)	31	36,1
Хлорид никеля (кристаллогидрат)	3	3,5
Уксусная кислота	33	35
Лаурилсульфат натрия	0,1	1,0
Сахарин	0,01	0,1

Режим электролиза: pH 3,0—4,0, температура 55—60 °C, катодная плотность тока 2,0—6,0 А/дм². Отношение площади анода к площади катода 3 : 1.

II. Электролиты железнения

Осадки железа не имеют такого широкого применения, как никелевые или хромовые, тем не менее в целом ряде случаев использование железа позволяет значительно снизить стоимость изделий, повысить их жаропрочность, износостойкость. Твердость электролитического железа составляет 2000—25 000 МПа и может быть повышена путем цементации, цианирования, достигая при этом значений 8500—8800 МПа.

Для осаждения железа наибольшее применение нашли сульфатные, хлоридные, фторборатные и смешанные электролиты. В последние годы для осаждения осадков железа разработаны и начинают применяться новые высокопроизводительные электролиты, например сульфаматные.

Общим недостатком электролитов является окисление ионов железа(II) до ионов железа(III). Они также склонны к пitting-образованию и чувствительны к различным загрязнениям и органическим добавкам. Отмечено, что присутствие ионов железа(III) в электролите понижает выделение водорода, являющееся главной причиной пitting-образования. Однако наличие ионов железа(III) в растворе приводит к появлению гидроксилов в виде хлопьев, которая является причиной образования шероховатых осадков, требующих постоянной фильтрации электролита. Переменивание электролитов железнения воздухом недопустимо, так как оно усиливает процесс окисления ионов железа(II) в ионы железа(III). Для уменьшения окисления зеркало электролита в ряде случаев защищают поплавами из резины или полиэтилена.

Все электролиты железнения чувствительны к механическим загрязнениям и различным органическим примесям. В связи с этим свежеприготовленные электролиты необходимо подвергать обработке активированным углем.

Сульфатные электролиты, используемые для осаждения железа, характеризуются низкой производительностью, но они могут работать при 18—23 °C. При использовании сульфатного электролита необходимо строго контролировать кислотность раствора (pH 5,3—5,7), так как при повышении pH падает катодный выход по току, а при повышении — усиливается гидролиз с выпадением гидроксида железа, которая внедряется в осадок и ухудшает его физико-химические свойства. Рабочая катодная плотность тока в холодном электролите составляет не более 0,5 А/дм², поэтому электролит не может быть рекомендован для широкого применения.

В настоящее время имеются сведения о сульфатных электролитах, допускающих работу при более высоких катодных плотностях тока. Интенсифицированный сульфатный электролит железнения имеет следующий состав (г/л):

Железосамодвижный сульфат (кристаллогидрат)	300
Сульфат железа (кристаллогидрат)	200
Сульфат алюминия	100

Режим электролиза: pH 3,2—5,0, рабочая температура электролита 30—45 °C; катодная плотность тока 2—4 А/дм². В качестве анодов используется чистое железо. Аноды рекомендуются помещать в чехлы.

Но, несмотря на интенсификацию процесса и осаждение покрытий повышенной твердости, покрытия из сульфатных электролитов получаются довольно напряженные.

Наиболее производительными являются горячие хлоридные электролиты, которые позволяют вести процесс при высоких плотностях тока. Они обладают высокой электропроводностью раствора, получаемые осадки железа — гладкие, а самое главное, пластичные. Для гальванопластического применения предлагается хлоридный электролит следующего состава (г/л):

Хлорид железа (кристаллогидрат)	450
Хлорид калия	150

Режим электролиза: pH 0,2—1,5; температура раствора 90—95 °C; катодная плотность тока 20—8,5 А/дм²

При механическом перемешивании плотность тока может быть повышена до 22 А/дм². В качестве анодов используется чистое железо. Аноды помещают в чехлы из стеклотканной ткани. Вместо хлорида калия можно применять хлорид натрия. Для повышения твердости осадков железа рекомендуется добавлять в хлоридные электролиты глицирин (60—100 г/л) и сахар (30—50 г/л). После термобработки твердость осадков из этого электролита увеличивается в 2—3 раза.

Хлоридные электролиты окисляются на воздухе, что приводит к накоплению ионов железа(III) и снижению качества покрытий. Для восстановления ионов железа(III) электролит необходимо проработать ток или ввести в него чистую железную стружку при одновременном добавлении соляной кислоты. Время, необходимое для полного восстановления ионов железа(III) в ионы железа(II), составляет 24—48 ч. Горячие электролиты хорошо работают лишь при высоких температурах. Снижение температуры ниже 90 °C повышает хрупкость осадков, возможно шелушение и растрескивание. Вредными примесями в хлоридной ванне являются медь, свинец, ионы сульфата и различные органические загрязнения. Медь и свинец могут быть удалены путем проработки электролита при низкой плотности тока. Путем фильтрации через слой активированного угля электролит очищают от органических примесей. Очистку электролита от загрязнений ведут в следующей последовательности: доводят pH до 5,5 путем добавления гидроксида натрия, калия или аммония, добавляют 5—10 г/л активированного угля и механически перемешивают раствор в течение 1 ч. Далее ведут проработку раствора при плотности тока 0,5 А/дм² в расчете 5—10 А/ч и отфильтровывают раствор.

Горячие электролиты (60—90 °C) неудобны в эксплуатации: требуют большого количества электроэнергии для поддержания высокой температуры, необходимого устройства для вентиляции и частой корректировки электролита за счет испарения раствора.

Холодные электролиты лишены указанных недостатков, более устойчивы против окисления кислородом воздуха и позволяют получать осадки с хорошими физико-химическими свойствами.

Так, в Днепропетровском индустриальном институте (МВИАССО СССР) разработан процесс железнения в холодном проточном электролите. Для обеспечения надежной адгезии осадка на начальную стадию электролиза проводят на асимметричном токе промышленной частоты. Основной слой металла осаждают затем на постоянном токе при достаточно высокой производительности ванны. В электролите содержится 100 г/л двухвалентного железа и 0,4—3 г/л соляной кислоты. Процесс ведут при температуре 30 °C и катодной плотности тока 5—30 А/дм².

Для повышения качества осадков и увеличения катодного выхода по току при осаждении железа предложено в состав электролита вводить янтарную кислоту. Увеличение концентрации янтарной кислоты мало влияет на катодный выход по току железа. Оптимальная концентрация янтарной кислоты в растворе составляет 1—2 г/л.

В присутствии янтарной кислоты микротвердость осадков увеличивается до 7000—7800 МПа вместо 4000—5000 МПа без этой добавки за счет уменьшения размеров кристаллитов. При большем содержании янтарной кислоты на поверхности осадков появляются темные полосы, качество ухудшается. Внутренние напряжения осадков в присутствии оптимального количества добавки составляют 5—180 МПа, снижаясь с ростом катодной плотности тока. Осадки обладают высокой износостойкостью. Корректировка электролита производится через 55 А/ч. Предлагаются следующие оптимальный состав электролита (г/л):

Хлорид железа (кристаллогидрат)	400
Янтарная кислота	1—2

Режим электролиза: pH 0,5—1,0, температура раствора 25—35 °C; катодная плотность тока 10—50 А/дм²; катодный выход по току 90—98 %.

Для повышения стойкости хлоридных электролитов железнения предложено добавлять в них гидразин (20—30 г/л), хлорид алюминия (20—100 г/л), аскорбиновую кислоту (0,25—0,8 г/л). Скорость окисления ионов железа(II) в ионы железа(III) замедляется в присутствии фенидона, гидразинборана, ионов несплошных металлов.

Фторборатные электролиты применяются значительно реже, чем сульфатные и хлоридные. Вероятно, это объясняется сложностью приготовления фторборатного электролита и большой

стоимостью. Для изготовления формообразующих оболочек пресс-формы использовали [2] фторборатный электролит следующего состава (г/л)

Фторборат железа	30
Борная кислота	18
Ворфтористоводородная кислота	1-4

Режим электролиза pH 3,0—3,5, температура электролита 60 °С. Для предотвращения пittingа в электролит добавляют 0,1 г/л лаурилсульфата натрия

Проведенные исследования показали, что с увеличением катодной плотности тока выходы по току практически постоянны и равны 97—98 %. Качество осадков с повышением катодной плотности тока ухудшается. Если при плотности тока 5 А/дм² получаются светло-серые мелкокристаллические осадки, то уже при 7 А/дм² осадки становятся крупнокристаллическими и шероховатыми. При более высоких катодных плотностях тока наблюдается образование темных и рыхлых сложенных. Осаждение железа из электролита рекомендуется производить при плотности тока 3—4 А/дм² и температуре 50—60 °С. В этих условиях были получены доброкачественные осадки толщиной до 4 мм. С ростом толщины качество осадков несколько ухудшалось. Однако по сравнению с осадками, получаемыми из сульфатного электролита, осадки из фторборатного электролита были более плотные и пластичные. Недостатком использованного электролита является значительная неравномерность распределения металла по поверхности

Во фторборатном электролите выход по току увеличивается с повышением концентрации соли железа и с уменьшением кислотности раствора. Перемешивание электролита приводит к снижению выхода по току. Существенное возрастание допустимой плотности тока наблюдается при повышении температуры электролита. При этом улучшается внешний вид осадков. Для получения гладких осадков необходимо производить непрерывную фильтрацию электролита и не допускать его сильных перегревов

Из других электролитов заслуживают внимания сульфатные электролиты. В этих электролитах в зависимости от концентрации железа, сахарина и кислотности, а также условий осаждения формируются осадки с внутренним напряжением 10—250 МПа, твердостью 2000—6000 МПа и содержанием серы от 0,01 до 0,07 % при выходе по току 78—95 %. При этом при низких плотностях тока (менее 5 А/дм²) осадки железа характеризуются слоистой структурой, а при высоких (более 10 А/дм²) — столбчатой

Известен сульфатный электролит блестящего железения, в котором при комнатной температуре получают осадки со степенью блеска 60—70 % и микротвердостью 2200—2500 МПа. Для осаждения рекомендован следующий состав электролита (г/л)

Сульфат железа	190
Борная кислота	25-30
Дистаноллин	0,1
Добавка «Прогресс»	0,4

Режим электролиза pH 1,65, катодная плотность тока 4—10 А/дм²; температура электролита 18—25 °С

12. Электролиты для осаждения сплавов

В настоящее время в гальванопластике используются всего несколько сплавов. Промышленно применение нашли сплавы никель—кобальт и никель—железо. Экспериментальные детали изготавливаются из таких сплавов, как никель—марганец, никель—кобальт—марганец, кобальт—вольфрам, кобальт—вольфрам—никель и кобальт—фосфор

Наиболее широкое применение, главным образом в производстве пресс-форм, нашли сплавы никеля с кобальтом. Электроосаждение сплава никель—кобальт известно давно. Использование сплава для электролитического формирования деталей обусловлено его высокими твердостью и механической прочностью, значительно превосходящими твердость и прочность осадков никеля. В настоящее время из никель—кобальтового сплава изготавливают формообразующие детали пресс-форм, так как благодаря высокой твердости осадков не требуется производить операцию термобработки, обязательную для пресс-форм из инструментальных сталей

По литературным данным, для осаждения сплава никель—кобальт могут быть использованы сульфатные, хлоридные, сульфат-хлоридные, сульфатные, пирофосфатные и аммиакатные электролиты. Однако для электролитического формирования сплава применение лишь сульфатных и сульфатных электролитов

Для изготовления формообразующих деталей пресс-форм используется электролит следующего состава (г/л):

Сульфат никеля (кристаллогидрат)	200
Сульфат кобальта (кристаллогидрат)	10
Хлорид натрия	15
Борная кислота	30

Режим электролиза: pH 5,6; температура электролита 20 °С; катодная плотность тока 1 А/дм²

Применяются никелевые и кобальтовые аноды с раздельным электропитанием, а также непрерывная фильтрация электролита. Скорость осаждения сплава составляет 4 мм за 10–12 сут.

Свежеприготовленный электролит очищают от органических примесей путем добавления перекиси водорода и проработки его при низкой плотности тока. Из данного электролита при указанном режиме работы получают осадки, содержащие приблизительно 40 % кобальта. Было установлено, что состав осадка сплава определяется в основном содержанием кобальта в электро-

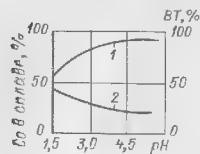


Рис. 2. Влияние pH электролита на выход по току и содержание кобальта в осадке.

1 — выход по току, 2 — содержание кобальта в осадке.

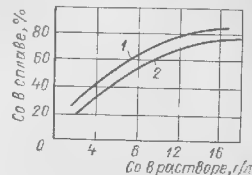


Рис. 3. Влияние перемешивания в сульфатном электролите на содержание кобальта в осадке.

1 — с перемешиванием, 2 — без перемешивания в электролите.

лите и применяемой плотности тока. С повышением концентрации кобальта и уменьшением плотности тока из электролита указанного выше состава получают осадки, обогащенные кобальтом.

На рис. 2 показано, что с ростом pH электролита выход по току увеличивается, а содержание кобальта уменьшается. Перемешивание данного электролита несколько повышает содержание кобальта в осадке (рис. 3). Исследование анодного режима показало, что рациональнее вести процесс с раздельными анодами из никеля и кобальта, имеющими индивидуальное питание. Силу тока, проходящего через никелевые и кобальтовые аноды, устанавливают с учетом состава катодного осадка. Так, чтобы получить сплав, содержащий 30 % кобальта, на кобальтовый анод необходимо подавать 30 % от общей силы тока, так как электрохимические эквиваленты никеля и кобальта отличаются друг от друга очень мало.

Была также показана возможность использования сульфатного электролита для получения толстых слоев осадка сплава ни-

кель — кобальт с применением только никелевых анодов: электролит корректировали путем добавления в него концентрированного раствора сульфата кобальта.

В некоторых случаях рекомендуемый состав электролита отличается от ранее указанного повышенным содержанием сульфата никеля и более низким содержанием кобальта. Кроме того, в электролит добавляют моющую жидкость «Прогресс» и паратолуолсульфамид. Паратолуолсульфамид вводится в электролит для уменьшения внутренних напряжений в осадке. Используются аноды никелевые марки НПАИ и кобальтовые марки КО или КИ в соотношении 3 : 1.

Свежеприготовленный раствор фильтруют через слой активированного угля и прорабатывают при низкой плотности тока. В свежеприготовленных электролитах, а также периодически в процессе их работы необходимо контролировать внутренние напряжения в осадках, так как наблюдаются случаи их растрескивания.

Недостатком сульфатных электролитов является повышенная хрупкость получаемых осадков. Отмечается, что для изготовления деталей авиационной техники проверялась возможность использования сульфатного электролита: были получены осадки хорошего качества толщиной лишь до 125 мкм.

Наиболее приемлемыми для электролитического формирования деталей из сплава никель — кобальт являются сульфаматные электролиты, которые позволяют вести осаждение при высоких плотностях тока. Получаемые из них осадки менее хрупкие и могут подвергаться различным видам механической обработки.

Эксплуатация в производственных условиях сульфаматных электролитов для получения осадков сплава никель — кобальт показала их преимущества. Осадки, получаемые из сульфаматного электролита, более эластичные, внутренние напряжения в них значительно меньше, чем в осадках, получаемых из сульфатных электролитов.

Исследование условий получения сплава никель — кобальт из сульфаматных электролитов, содержащих (г/л) 195–440 сульфата никеля, 2,5–195 сульфата кобальта; 35–40 борной кислоты и 2–4 хлорида никеля, показало, что путем изменения соотношения концентрации никеля и кобальта в растворе могут быть получены осадки с различным содержанием металлов (рис. 4).

На рис. 4 видно, что незначительное повышение концентрации кобальта в электролите приводит к резкому увеличению его в сплаве. Осадки с содержанием кобальта до 58 % были светлыми,

плотными и легко отделялись (в виде эластичной пленки) от основы из коррозионно-стойкой стали. Катодный выход по току при $i_k = 5 \text{ А/дм}^2$ и температуре 60°C составил 95–98 %. При содержании в сплаве кобальта выше 58 % осадки становились серыми и хрупкими. Выход по току при этом снижался до 88 %.

В значительно меньшей степени состав осадков сплава Ni—Co зависит от изменений катодной плотности тока. С увеличением i_k

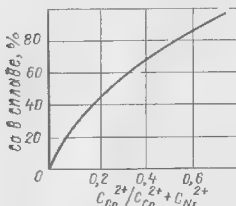


Рис. 4. Зависимость состава сплава никель—кобальт от соотношения концентраций никеля и кобальта в сульфатном электролите при температуре 60°C ; pH 3,5; $i_k = 5 \text{ А/дм}^2$

при температуре электролита 60°C и pH 3,5 состав осадков сплава изменяется в сторону уменьшения в них кобальта (рис. 5). Причем это изменение наиболее заметно при большом содержании кобальта в электролите (кривые 1, 2). При перемешивании электролита содержание кобальта в осадках увеличивается (кривая 3). Изменение температуры электролита от 20 до 70°C мало

влияет на состав осадка, но обеспечивает ведение процесса при больших плотностях тока. При комнатной температуре плотные светлые осадки получаются при плотности тока не выше 3 А/дм^2 . При температуре $55\text{--}60^\circ\text{C}$ хорошие осадки получаются при плотности тока 5 А/дм^2 .

Изменение pH электролита в пределах от 1 до 5 также

влияет на качество осадков. При pH от 1 до 2 и выше 4 осаждаются более темные осадки. При низких pH наблюдаются обильное выделение водорода, сильное пittingобразование и низкие выходы по току. Содержание кобальта в осадках при возращении pH электролита от 1 до 5 изменяется лишь на 5–6 %.

Для использования в промышленности [5] рекомендуется электролит следующего состава (г/л):

Сульфат никеля (кристаллогидрат)	430–440
Сульфат кобальта (кристаллогидрат)	26–27
Хлорид никеля (кристаллогидрат)	2–4
Борная кислота	40
Лавриксульфит натрия	0,7–1
Сахарин	0,1

Режим электролиза: pH 3,5–3,8, температура электролита $55\text{--}60^\circ\text{C}$; катодная плотность тока 5 А/дм^2 . Перемешивание элек-

тролита производят сжатым воздухом. Электролит непрерывно фильтруют, пропуская через активированный уголь.

Сплавы железо—никель обладают высокими твердостью и механической прочностью, поэтому они являются перспективными для изготовления конструктивных деталей. Химическая стойкость осадков сплава (при содержании железа не более 30–40 %) близка к химической стойкости никеля, при этом достигается его значительная экономия. Осаждение сплавов никеля с железом производят из сульфатных, хлоридных и сульфатных электролитов.

Для получения фольги (толщиной до 25 мкм) был использован сульфатный электролит следующего состава (г/л):

Сульфат железа (кристаллогидрат)	13
Сульфат никеля (кристаллогидрат)	130
Борная кислота	33
1,3,6-трисульфатадиновая кислота	5

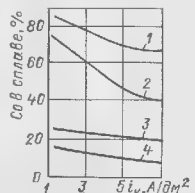


Рис. 5. Зависимость состава сплава никель—кобальт от катодной плотности тока при температуре электролита 60°C , pH 3,5 и концентрации металлов в электролите (г/л):
1 — $47,3\text{Ni}^{2+} + 35,5\text{Co}^{2+}$, без перемешивания;
2 — $47,3\text{Ni}^{2+} + 18,1\text{Co}^{2+}$, без перемешивания;
3 — тот же состав, с перемешиванием;
4 — $73,4\text{Ni}^{2+} + 4,0\text{Co}^{2+}$, без перемешивания

Режим электролиза: pH 2,5, температура 60°C ; катодная плотность тока 10 А/дм^2 . Использовались аноды из чистого железа. Электролит перемешивался путем механического движения катода.

Путем изменения содержания никеля и железа в электролите были получены осадки с содержанием железа от 0 до 67 %.

При осаждении сплава железо—никель из сульфатных электролитов требуется соблюдать соотношение между плотностью тока и кислотностью электролита: чем выше применяемая плотность тока, тем больше должна быть кислотность, а противном случае осадки склонны к растрескиванию.

Для устранения вредного влияния железа(III), которое накапливается в электролите, вводят лимонную кислоту в количестве 15 г/л. Она образует с железом прочные комплексы и в то же время является хорошей буферной добавкой.

В последнее время значительный интерес вызывают сульфатные электролиты, так как они позволяют получать пластичные осадки различной толщины.

Для осаждения сплава никель—железо из сульфатного электролита предложен следующий состав электролита (г/л)

Сульфат никеля (кристаллогидрат, в пересчете на металл)	85—87
Сульфат железа (кристаллогидрат, в пересчете на металл)	27—28
Хлорид натрия	3
Сахарин	1

Режим электролиза: pH 2,5—3,0, температура электролита 20—28 °С, катодная плотность тока 1—3 А/дм²

Для уменьшения окисления ионов железа(II) в железо(III) анодное и катодное пространства разделяли пористой диафрагмой (например, из полихлорвиниловой ткани, предварительно упорядоченной кипячением в воде)

В этом электролите проверялась зависимость состава осадков от состава электролита и режимов осаждения. С увеличением отношения концентраций Ni^{2+}/Fe^{2+} в электролите в осадке повышается

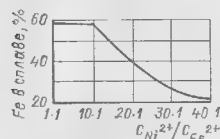


Рис. 6. Зависимость состава сплава никель—железо от соотношения концентраций никеля и железа в сульфатном электролите при температуре 20 °С, pH 3; $i_k=3$ А/дм²

содержание никеля (рис. 6). При этом повышаются выходы по никелю. При отношении никеля к железу в электролите 1:1 и 10:1 осаждаются сплавы, содержащие 60 % железа и 40 % никеля, что свидетельствует о преимущественном осаждении железа перед никелем.

На рис. 7 представлена зависимость состава сплава никель—железо от катодной плотности тока. Из приведенных данных видно, что с увеличением плотности тока в сплаве увеличивается содержание никеля. С увеличением pH электролита содержание железа в осадках уменьшается. Выход по току при этом повышается. При температуре электролита выше 30 °С наблюдается окисление железа(II) в железо(III) с выпадением гидроксида, которая, включаясь в осадок, ухудшает его качество.

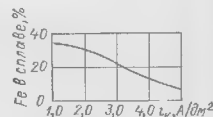


Рис. 7. Зависимость состава сплава никель—железо от катодной плотности тока в электролите, содержащем (г/л) сульфат никеля (в пересчете на металл) —85—87; сульфат железа (в пересчете на металл) —22—28; хлорид натрия —3,0 при температуре 20 °С; pH 3; $i_k=3$ А/дм²

Введение сахара в электролит в количестве 0,5—1 г/л снижает внутренние напряжения растяжения в осадках

Применение сплавов никель—марганец для технических целей давно привлекает внимание исследователей, так как добавка марганца уже в небольших количествах значительно повышает твердость осадков. Было установлено, что наилучшими физико-механическими свойствами обладают осадки из сульфатного электролита следующего состава (г/л)

Сульфат никеля (кристаллогидрат, в пересчете на металл)	75—93
Сульфат марганца (кристаллогидрат, в пересчете на металл)	15—37
Борная кислота	3
Смачивающая добавка	0,4

Режим электролиза: pH 2—5, температура электролита 30—70 °С, катодная плотность тока 8 А/дм²

В качестве анодов использовался пассивирующийся никель. Свесоосажденные осадки для уменьшения хрупкости подвергались термообработке при температуре 425 °С в течение 16 ч в атмосфере аргона с последующим охлаждением на воздухе.

Электролитическое формирование деталей из сплавов вольфрама с металлами группы железа представляет большой интерес из-за следующих свойств данных сплавов высокой твердости, механической прочности, хорошей износостойкости, коррозионной стойкости и сопротивляемости окислению при повышенных температурах. Твердость сплавов вольфрама превосходит твердость никеля, кобальта и железа. Причем после термообработки твердость этих сплавов повышается.

Предполагается, что сплав кобальт—вольфрам найдет широкое применение в космической промышленности благодаря высоким твердости и механической прочности при повышенных температурах.

Большая часть электролитов для осаждения сплава кобальт—вольфрам содержит сульфат кобальта, вольфрамат натрия и комплексобразователи. В качестве комплексобразователей используются лимонная или винная кислоты, хлорид аммония, селитровая соль, пирофосфат калия. Электролиты, содержащие высокие концентрации кобальта, имеют преимущество перед более разбавленными электролитами, так как могут работать при повышенных плотностях тока. Все электролиты для осаждения сплава кобальт—вольфрам эксплуатируются при температурах 60—95 °С.

В тех случаях, когда электролиты содержат соли аммония, нежелательно нагревать ванны до температуры выше 50—70 °С из-за летучести аммиака. Однако при низких температурах получаются недоброкачественные осадки.

При работе аммиачных ванн целесообразно пренебрегать через раствор газообразный аммиак, что позволяет легко поддерживать pH электролита в заданных пределах. Электролиты для осажде- ния сплавов вольфрама чувствительны к примесям, такие метал- лы, как кадмий и свинец, не должны присутствовать в концентра- циях больше чем 0,1 г/л

Рекомендуется использовать для осаждения сплава Co—W растворимые аноды. Вольфрам растворяется со 100 %-ным выхо- дом по току, если pH электролита не ниже 9 и применяются уме- ренные плотности тока. Кобальтовые же аноды растворяются удовлетворительно только при низких плотностях тока. Поэтому целесообразно соли кобальта вводить в электролит в виде кон- центрированных растворов или прорабатывать ванну с кобаль- товыми анодами при низких плотностях тока

Состав сплава Co W зависит от содержания кобальта и вольфрама в электролите. Содержание вольфрама в осадке па- дает с увеличением общей концентрации металлов (при постоян- ном соотношении их в электролите). Как правило, с повышением плотности тока содержание вольфрама в сплаве увеличивается, а выход по току падает. Изменение pH и температуры мало влияет на состав осадка, однако при более высоких температурах и pH получают осадки лучшего качества

Рекомендован электролит следующего состава (г/л):

Сульфат кобальта (кристаллогидрат)	85—115
Вольфрамат натрия	40—45
Сегетова соль	350—380
Хлорид аммония	50—60
Антипигментная добавка	0,1—1

Режим электролиза pH 8,5—9; температура 70—80 °C; ка- тодная плотность тока 2,0—8,0 А/дм²

В качестве материала анодов использовался кобальт или вольфрам, заключенный в чехлы для предохранения электролита от загрязнения шлаком. Отношение поверхностей анода и катода составляло 3:1. Для поддержания pH в указанном интервале че- рез электролит продували газообразный аммиак. Рекомендуются постоянная фильтрация электролита и механическое перемешива- ние. Антипигментная добавка относится к классу алкиларилполи- эфирных спиртов. В этом электролите были изготовлены детали с толщиной стенки до 3 мм

Следы меди в электролите ухудшают качество осадков. При- меси ионов цинка, марганца и кадмия также ухудшают каче- ство осадков, если их концентрация в электролите составляет более 2 г/л. Введение в электролит серосодержащих добавок рез- ко уменьшает содержание вольфрама в электролите

Осаждаемый сплав кобальт — вольфрам хрупкий, поэтому из- готовленные из него детали после отделения от формы отжигают в атмосфере аргона по следующему режиму: нагрев до 1350 °C в течение 5 ч при медленном подъеме температуры, выдержка при указанной температуре в течение 2 ч, охлаждение с печью, старение в атмосфере инертного газа в течение 16 ч

В литературе сообщается, что сплав кобальт — вольфрам, со- держащий 35 % вольфрама, опробован для электролитического формирования корпусов двигателей, работающих на пропиленовом топливе. С этой целью был использован электролит, содержащий, кроме сульфата кобальта, вольфрамата натрия и хлористого ам- мония, лимонную кислоту и глюкозу

Проверялась возможность изготовления миниатюрных сопел в электролите, содержащем сульфат кобальта, следующего со- става (г/л):

Сульфат кобальта (кристаллогидрат)	52—53
Вольфрамат натрия	83—84
Сульфат аммония	250—300
Гидроксид натрия	10—11
Гидроксид аммония (25% нкл) до pH	9,0—9,5

Режим электролиза температура электролита 58—60 °C, ка- тодная плотность тока 3—3,5 А/дм²

Анодами служили кобальтовые пластины в прутки вольфра- ма. Выход по току составлял 65—69 %. Из данного электролита получаются осадки, содержащие до 25 % вольфрама, они менее хрупкие по сравнению с осадками, полученными из электролита, содержащего сульфат кобальта

Всплывшие ниже и сплав кобальт — вольфрам заметно улуч- шает его механические свойства. Для осаждения тройного сплава кобальт — вольфрам — никель требуется электролит следующего состава (г/л):

Сульфат кобальта (кристаллогидрат)	110—115
Вольфрамат натрия	38—43
Сульфат никеля (кристаллогидрат)	5—8
Сегетова соль (кристаллогидрат)	375—385
Хлорид аммония	50—55
Антипигментная добавка	0,5—0,8

Режим электролиза pH 8—9; температура электролита 88—90 °C; катодная плотность тока 4,5—5,5 А/дм²

Применяются кобальтовые и вольфрамовые аноды. Получен- ный сплав содержит 65 % кобальта, 30 % вольфрама и 5 % ни- келя. Скорость осаждения составляет 50 мм/ч. Осадки сплава обладают высокими твердостью, износостойкостью, сопротивле- нием разрыву и стойкостью к окислению при высоких темпера- турах

Из сплава кобальт — вольфрам — никель изготавливают детали для авиационной техники. В литературе отмечается, что для изготовления деталей путем электроосаждения могут быть использованы сплавы никеля и кобальта с фосфором, так как введение последнего в количестве 1—3 % значительно снижает внутренние напряжения в осадках. Для осаждения осадков сплавов никель—фосфор и кобальт—фосфор предложен ряд электролитов, которые описаны в работе [7].

V ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРА ЭЛЕКТРООСАЖДЕННЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

13. Структура и свойства меди

Осадки меди, получаемые из сульфатных электролитов без специальных добавок, имеют относительно невысокую механическую прочность (в пределах 0,15—0,24 ГПа), но они достаточно пластичны, имеют небольшие внутренние напряжения и обладают хорошей электропроводностью.

Для осадков меди, полученных без специальных добавок, характерна крупнокристаллическая столбчатая структура. По мере увеличения толщины осадка от 20 до 800 мкм размер зерен увеличивается. Крупнокристаллическая структура осадков меди из сульфатного электролита и склонность их к дендритообразованию являются причиной образования грубых отложений уже при толщине осадка около 1 мм.

При уменьшении в сульфатном электролите концентрации сульфата меди и повышении содержания серной кислоты осадки становятся более мелкокристаллическими, что отражается и на их свойствах. В табл. 1 показано изменение некоторых свойств осадков меди в зависимости от концентрации сульфата меди и серной кислоты [7]. Осадки получались при катодной плотности тока 1 А/дм² в электролите без перемешивания при температуре 20 °С.

Из табл. 1 видно, что с повышением концентрации сульфата меди и с понижением содержания серной кислоты прочность осадков понижается, а пластичность их становится выше. Удельное электросопротивление медных осадков уменьшается от 2,6 до 1,9 · 10⁻⁸ Ом м, что можно объяснить уменьшением величины зерна.

Таблица 1

Зависимость свойств осадков меди от состава сульфатного электролита

Объемное содержание, г/л	σ_B , ГПа	δ , %	$\rho \cdot 10^{-8}$, Ом м
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ *			
63	0,29	2,0	2,6
100	0,25	9,0	2,4
143	0,22	13,0	2,0
170	0,19	11,0	1,9
203	0,11	—	1,9
H_2SO_4 **			
5,3	0,11	13,0	2,0
100	0,22	6,0	2,0
120	0,26	5,0	2,1
150	0,15	4,0	2,1

* $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ —150 г/л.

** H_2SO_4 —63 г/л.

Твердость осадков меди мало изменяется с увеличением концентрации сульфата меди. При повышении содержания серной кислоты наблюдается увеличение твердости и одновременно увеличиваются внутренние напряжения в осадках, хотя эти напряжения не являются причиной образования некачественных осадков.

На рис. 8 показано изменение внутренних напряжений в осадках меди с увеличением концентрации серной кислоты. Из рисунка видно, что в области обычно применяемых концентраций серной кислоты (от 45 до 75 г/л) наблюдается повышение внутренних напряжений.

При повышении концентрации сульфата меди наблюдается незначительное уменьшение внутренних напряжений.

Изменение условий осаждения меди также отражается на свойствах осадков. В табл. 2 приведены данные о влиянии плотности тока и температуры электролита, содержащего 200 г/л

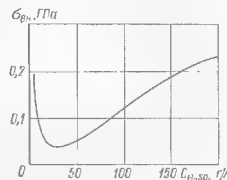


Рис. 8. Зависимость внутренних напряжений в осадках меди от концентрации серной кислоты в электролите, содержащем 200 г/л $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, при температуре 18 °С;
 $i_K = 2 \text{ А/дм}^2$

Таблица 2

Зависимость свойств осадков меди от катодной плотности тока и температуры электролита

Показатель	σ , ГПа	δ , %	$\rho \cdot 10^{-8}$ Ом·м
Катодная плотность тока, A/dm^2			
1	0,11	—	1,9
2	0,39	6,0	2,0
3	0,47	5,0	2,2
Температура электролита, $^{\circ}C$			
20	0,39	6,0	2,0
30	0,24	11,0	2,1
40	0,23	7,0	2,3

$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ и 50 г/л H_2SO_4 без перемешивания, на физико механические свойства осадков меди.

Из приведенных данных видно, что с повышением катодной плотности тока и понижением температуры электролита прочность осадков повышается. Удельное электросопротивление увеличивается с повышением плотности тока и температуры электролита. Внутренние напряжения в осадках меди увеличиваются с повышением температуры электролита.

Одним из существенных недостатков сульфатных электролитов, как указывалось выше, является их большая чувствительность к различным органическим примесям, которые часто попадают в электролиты с используемыми солями, анодами и чехлами, применяемыми для защиты электролита от анодного шлама.

Повышенная чувствительность сульфатных электролитов к органическим примесям используется для получения осадков с повышенной твердостью. Чаще всего для этой цели в электролиты вводят добавки сегнетовой соли, желатинны, мезасы, тиомочевинны, фенолсульфоновой кислоты и др. Эти добавки способствуют изменению структуры осаждаемой меди, а следовательно, и ее твердости. Например, добавка желатинны или фенолсульфоновой кислоты приводит к образованию мелкокристаллических осадков с волокнистой структурой. Такие осадки обычно на 15—20 % тверже, чем осадки со столбчатой структурой.

На рис. 9 приведена зависимость микротвердости осадков меди от содержания в электролите сегнетовой соли. Из графика видно, что добавка 0,05 г/л сегнетовой соли увеличивает микротвердость осадков почти в 2 раза. Однако при этом повышается хрупкость осадков и уменьшается предел их прочности при растяжении (рис. 10).

Последние исследования показали, что значительное изменение структуры меди наблюдается при введении в электролит комбинированной добавки, состоящей из динатриевой соли дитионбисбензосульфокислоты и препарата ОС-20. Совместное действие этих добавок приводит к получению мелкокристаллических (средняя величина зерна 10^{-7} м), практически беспористых текстурированных осадков с удельным электросопротивлением $2,1 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, пределом прочности 0,29 ГПа и относительным удлинением 6 %.

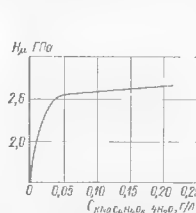


Рис. 9. Зависимость микротвердости осадков меди от концентрации сегнетовой соли в электролите, содержащем 50 г/л $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ при температуре $18^{\circ}C$, $i_k = 1 A/dm^2$

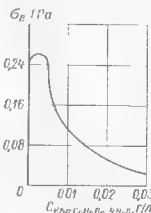


Рис. 10. Зависимость предела прочности осадков меди от концентрации сегнетовой соли в электролите, содержащем 50 г/л $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ и 50 г/л H_2SO_4 при температуре $18^{\circ}C$, $i_k = 1 A/dm^2$

При гальванопластическом изготовлении деталей из меди необходимо учитывать, что предел прочности осадков зависит от их толщины. Более прочными являются осадки толщиной от 25 до 150 мкм. По мере увеличения толщины прочность осадков меди снижается. При этом увеличивается их пластичность.

Воздействие повышенных температур также приводит к уменьшению прочности осадков и увеличению их пластичности. Так, термическая обработка осадков меди толщиной 1,0—1,5 мм при $250^{\circ}C$ в течение 2 ч приводит к уменьшению предела прочности на 13—15 % и увеличению относительного удлинения до 20 %. Одновременно снижается твердость осадков.

Определялась также плотность осадков меди, полученных из сульфатных электролитов. Установлено, что плотность электроосажденной меди находится в пределах $(8,918 : 8,923) \cdot 10^{-3}$ кг/м³ и мало изменяется с изменением состава электролита и режимов

осаждения. Некоторые органические добавки, например желатина, включаясь в осадок, вызывают понижение плотности.

С целью интенсификации процессов гальванопластики применяют фторборатные электролиты, допускающие использование более высоких плотностей тока. Это достигается за счет увеличения в электролите концентрации ионов меди, поскольку растворимость фторборатной меди больше, чем растворимость сульфатной меди.

Физико-механические свойства меди, выделяемой из фторборатного электролита, определяются мелкокристаллической структурой осадков и зависят от концентрации основных компонентов и режимов осаждения. В табл. 3 приведены значения некоторых физико-механических свойств осадков меди, полученных при различных плотностях тока и температурах электролита с содержанием фторбората меди 177 и 336 г/л.

Таблица 3

Свойства осадков меди, полученных из фторборатного электролита

Объем при осадке, см ³ CuBF ₆ ·2H ₂ O, г/л	Температура электролита, °С	Катодная плотность тока, А/дм ²	Плотность тока, ГПа	Относительное удлинение, %	Твердость, ГПа	Внутреннее напряжение, МПа	Плотность при 25 °С, д·10 ⁻³ , кг/м ³	Удельное сопротивление, ρ·10 ⁻⁸ , Ом·м
177	33	2 8	0,14 0,39	7 31	0,52 0,78	0 4,93	8,945 8,926	1,73
336	30 60	8	0,22 0,39	16 31	0,23 0,69	-1,37 -5,99	8,975 8,926	1,71 1,74

Из приведенных данных видно, что характер изменения физико-механических свойств осадков меди, полученных из фторборатного электролита, во многом совпадает с характером изменения свойств осадков, полученных из сульфатных электролитов. Такие свойства, как твердость, прочность, внутренние напряжения и относительное удлинение, увеличиваются с повышением плотности тока и понижением температуры электролита. Плотность и удельное электросопротивление осадков при всех приведенных режимах практически не изменяются. Значения предела прочности осадков, полученных из фторборатного электролита, находятся примерно в тех же пределах, что и для осадков из сульфатных электролитов. Однако пластичность их значительно выше. Кроме того, по внешнему виду осадки, полученные из фтор-

боратного электролита, значительно лучше. Поверхность их даже при больших толщинах относительно гладкая с небольшими дендритами. Скорость же осаждения меди почти вдвое выше, чем в сульфатных электролитах. Учитывая высокую стоимость фторбората меди, предложено [19] использование сульфатного электролита с добавкой борфтористоводородной кислоты. Это позволяет вести процесс осаждения меди при плотности тока от 5 до 7 А/дм². Качество получаемых осадков значительно лучше, чем в электролитах без добавки борфтористоводородной кислоты.

Осадки меди, получаемые из пирофосфатных электролитов, характеризуются мелкокристаллической структурой, что выражается в их более высокой твердости и прочности. В электролите, содержащем (г/л), пирофосфат калия — 410, лимонную кислоту — 10 и гидроксид аммония (20 % нан) 2,5 мл/л при pH 9,2, температуре 55°С и катодной плотности тока 1 А/дм², можно получить осадки толщиной более 0,1—0,2 мм с пределом прочности до 0,29—0,31 ГПа и относительным удлинением 10—11 %. После термической обработки при 250°С в течение 2 ч прочность осадков уменьшается примерно на 10 %, тогда как пластичность увеличивается. Тем не менее пирофосфатные электролиты редко используются для гальванопластического изготовления изделий, поскольку скорость осаждения в них почти в 2 раза ниже, чем в сульфатных, и в 4 раза ниже, чем во фторборатных. Чаще всего эти электролиты применяют для осаждения первичных слоев меди небольшой толщины.

14. Структура и свойства никеля

Электролитические осадки никеля обладают хорошими механическими свойствами и высокой коррозионной стойкостью, а также повышенной механической прочностью при температурах ниже нуля. Эти свойства обеспечивают широкое применение никеля для электролитического формирования различных деталей.

Свойства осадков никеля в значительной степени зависят от состава используемых электролитов, а также от режимов осаждения. Этим широко пользуются на практике при получении деталей с определенными механическими характеристиками. Анализ данных, приведенных в литературе, показывает, что свойства электроосажденного никеля изменяются в широких пределах. Например, осадки могут иметь твердость от 1,37 до 5,8 ГПа, прочность от 0,34 до 1,37 ГПа и относительное удлинение от 1,5 до 30 %.

Осадки никеля, полученные из сульфатного электролита Уоттса, характеризуются волокнистой структурой, которая укрупняет-

ся с толщиной. Структура осадков, полученных из сульфатного электролита, изменяется от крупнозернистой столбчатой при pH 2,5 до мелкозернистой столбчатой при pH 5.

При более высоких pH наблюдается слоистая структура с внутренними трещинами [18].

Одной из основных характеристик никелевых осадков являются внутренние напряжения. Большие внутренние напряжения часто являются причиной растрескивания осадка в процессе осаждения на форму. Для осадков никеля характерны как растягивающие, так и сжимающие напряжения. Знак напряжений в значительной степени зависит от специальных добавок, используемых при осаждении. Величина внутренних напряжений зависит от природы электролита. Так, осадки, получаемые из сульфатного электролита, имеют высокие внутренние напряжения. Осадки же из сульфатного электролита характеризуются небольшими внутренними напряжениями, что обеспечивает наиболее широкое применение его в гальванопластике.

Величина внутренних напряжений в никелевых осадках уменьшается с увеличением толщины осадка. Для осадков никеля из сульфатного электролита наблюдается изменение внутренних напряжений до толщины осадка 10—13 мкм. При дальнейшем увеличении толщины они практически остаются постоянными. В сульфатном электролите с увеличением толщины осадка внутренние напряжения также уменьшаются и становятся постоянными примерно при толщине осадка 20—25 мкм.

На величину внутренних напряжений оказывают влияние состав электролита и режимы осаждения. В связи с этим большое внимание необходимо обращать на степень химической чистоты используемых растворов, поскольку наличие посторонних примесей (например, анионов NO_2^- , CrO_4^{2-} и катионов таких металлов, как хром, марганец, кобальт, свинец, олово, железо, цинк) приводит к значительному росту внутренних напряжений. В работе [10] исследована зависимость внутренних напряжений в осадках никеля от плотности тока в электролитах с различной степенью очистки. Из зависимостей, приведенных на рис. 11, видно, что из неочищенных сульфатных электролитов (кривые 1, 2) получают осадки с очень большими внутренними напряжениями, увеличивающимися с повышением катодной плотности тока. Наименьшими внутренними напряжениями обладали осадки из сульфатного электролита, обработанного перидролом (кривая 6).

Органические добавки, вводимые в электролиты никелирования для увеличения твердости и блеска осадков, также значительно изменяют внутренние напряжения. Например, добавка в

сульфатный электролит производных сульфароматических алдегидов позволяет повысить твердость осадков никеля до 6,8 ГПа и изменить внутренние напряжения растяжения от 0,17 ГПа до напряжений сжатия, имеющих величину 0,39 ГПа. Целый ряд других органических добавок также способен изменять не только величину внутренних напряжений, но и их характер. Для уменьшения внутренних напряжений в электролитах никелирования часто добавляют сахарин. Однако следует учитывать, что уже незначительные добавки сахарина (0,12—0,25 г/л) значительно снижают величину напряжений, переводя их из растягивающих в сжимающие даже при высоких плотностях тока (рис. 12).

Внутренние напряжения в осадках никеля зависят от концентрации основных компонентов в электролите. Установлено [18], что в сульфатном электролите с изменением концентрации соли никеля от 100 до 800 г/л наблюдается тенденция к уменьшению внутренних напряжений растяжения до нулевых значений с последующим переходом их в напряжения сжатия, причем наиболее значительное изменение наблюдается в интервале концентраций 350—650 г/л.

Повышение концентрации ионов хлора, вводимых в электролиты никелирования в виде хлоридов никеля или натрия для ускорения процесса растворения анодов, обычно увеличивает величину внутренних напряжений. Следует учитывать, что присутствие и других галогенов в никелевых электролитах также увеличивает внутренние напряжения и повышает их хрупкость. Наибольшее влияние оказывают фториды и иодиды, поэтому загрязнение ими электролитов недопустимо.

Хрупкость никелевых осадков, получаемых из сульфатных электролитов, может возникнуть вследствие включения в них

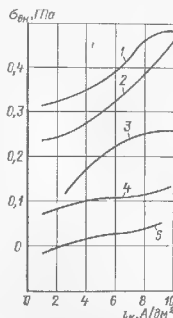


Рис. 11. Зависимости внутренних напряжений от катодной плотности тока в осадках, полученных из сульфатных и сульфатных электролитов различной чистоты при температуре 60 °С и pH 3,0—3,5 для электролитов:

1 — необработанный сульфатный, приготовленный из солей квалификации «чистейший», 2 — то же, но обработанный перманганатом калия, 3 — обработанный сульфатный, 4 — сульфатный, обработанный перманганатом калия и проработанный при малой плотности тока; 5 — сульфатный, обработанный перидролом.

серы. Предполагается, что накопление серы является результатом окисления ионов сульфаминовой кислоты [18]. В зависимости от количества накопившейся серы в никелевых осадках возникает напряжения растяжения или сжатия.

Борная кислота, добавляемая в никелевые электролиты как буферная добавка, почти не оказывает влияния на свойства никелевых отложений. Но в то же время изменение pH растворов оказывает большое влияние на величину внутренних напряжений. На

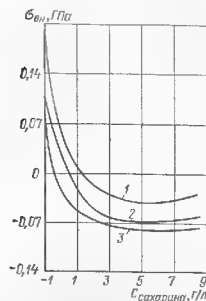


Рис. 12. Зависимость внутренних напряжений в осадках никеля от концентрации сахараина в электролите, содержащем 420 г/л $\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и 37,5 г/л H_3BO_3 при температуре 50 °C; pH 4,0 и катодной плотности тока ($\text{A}/\text{дм}^2$): 1—35, 2—10; 3—6,5

на рис. 13, с изменением pH растворов значения внутренних напряжений проходят через минимум, причем с повышением концентрации сульфата никеля минимум напряжений перемещается в область более высоких значений pH.

С повышением температуры электролитов внутренние напряжения осадков уменьшаются. После осаждения в сульфатном электролите при температуре 60 °C отскакивают незначительные внутренние напряжения осадков, что объясняется укрупнением кристаллов осадков при повышенных температурах.

Твердость осадков никеля мало зависит от концентраций сульфата никеля и хлоридов в электролите, но заметно изме-

няется с увеличением плотности тока и pH электролита. Это объясняется структурными изменениями, происходящими в осадках. Например, при небольших значениях pH получаются осадки крупнозернистой структурой, имеющие твердость 1,27—1,76 ГПа. При увеличении pH наблюдается измельчение структуры, сопровождающееся повышением твердости. При pH выше 5 твердость осадков достигает 3,9 ГПа. На рис. 14 показана зависимость твердости осадков никеля, полученных из сульфатного электролита

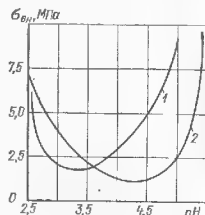


Рис. 13. Зависимость внутренних напряжений от pH электролита, содержащего 30 г/л H_3BO_3 , при температуре 50 °C; $i_k = 2,7 \text{ A}/\text{дм}^2$ и концентрации $\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$: 1—590 г/л; 2—420 г/л

Резкое изменение (уменьшение) твердости в зависимости от катодной плотности тока наблюдается при ее высоких значениях. При плотности тока 1—5 $\text{A}/\text{дм}^2$, применяемой в гальванопластических процессах, твердость изменяется мало, незначительно повышаясь.

С повышением температуры сульфатного электролита от 20 до 60 °C твердость никелевых осадков снижается примерно на 15—20 %, вследствие укрупнения их структуры. Твердость осадков никеля увеличивается также с добавлением в электролиты органических добавок, способствующих измельчению структуры. К таким добавкам относятся сахарин, бензосульфид, пропаргиловый спирт.

Повысить твердость осадков можно путем соседствования никеля с тонкодисперсными частицами окислов. Например, осаждение никеля в сульфатном электролите в присутствии окиси кремния при катодной плотности тока 3—4 $\text{A}/\text{дм}^2$, температуре электролита 30—45 °C и pH 5,3—5,8 позволило получить осадки с твердостью 60—65 HRC.

Воздействие повышенных температур снижает твердость никелевых осадков. На рис. 15 показано изменение микротвердости осадков никеля от температуры испытаний. При температуре 800—1000 °C микротвердость осадков почти в 1,7 раза меньше микротвердости тех же осадков при 20 °C.

В процессах конструкционной гальванопластики (электрохимического формования) большое значение приобретает знание прочностных характеристик осадков никеля. Это связано с тем,

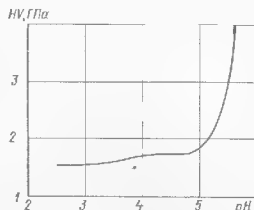


Рис. 14. Зависимость твердости осадков никеля от pH сульфатного электролита при $i_k = 2 \text{ A}/\text{дм}^2$

что изготавливаемые детали используют в различных приборах и машинах, где они подвергаются воздействию различных сил, создающих в них напряжения и приводящих в конце концов к деформации. В связи с этим на протяжении ряда лет ведутся исследования прочности, пластичности, упругости, вязкости и некоторых других свойств электролитического никеля.

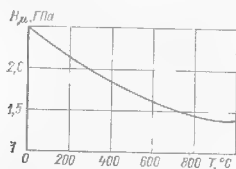


Рис. 15. Зависимость микротвердости осадков никеля, полученного из сульфатного электролита, от температуры испытаний

Из табл. 4 видно, что прочность осадков незначительно снижается с увеличением их толщины, тогда как ударная вязкость резко уменьшается. Повышение температуры испытаний приводит к снижению прочностных свойств. Термическая обработка осад-

ков никеля с последующим охлаждением также снижает прочностные характеристики и твердость. Относительное удлинение при этом повышается. Данные испытаний приведены в табл. 5.

Данные испытаний приведены в табл. 5 для осадков, полученных из сульфатного электролита при катодной плотности тока 2 А/дм² и из сульфатного — при плотности тока 5 А/дм². Температура электролита в обоих случаях составляла 55–60 °С, рН 3.

Таблица 3
Влияние термической обработки на твердость и прочность осадков никеля

Электролит	σ_B , ГПа	H_{μ} , ГПа	δ , %
Сульфатный свежеосажденный никель после термообработки при 400 °С в течение 2 ч после термообработки при 700 °С в течение 30 мин	0,55	2,2	5,0
	0,54	—	11,0
	0,47	1,2	25,0
Сульфатный свежеосажденный никель после термообработки при 400 °С в течение 2 ч после термообработки при 700 °С в течение 33 мин	0,73	2,74	1,0
	0,47	2,25	2,3
	0,35	1,27	5,7

Таблица 4
Зависимость механических свойств никеля, осажденного из сульфатного электролита, от толщины осадков и температуры испытаний

Толщина осадка, мм	Температура испытаний, °С	Предел прочности, ГПа	Предел текучести, ГПа	Относительное удлинение, %	Модуль упругости, ГПа	Ударная вязкость, Дж/м ²
0,4–0,6	20	0,96–0,98	0,60–0,71	3,4	23,2–24,7	—
0,7–0,9	20	0,88–0,98	0,63–0,71	—	17,4–19,5	—
0,9–1,0	20	0,82–0,83	0,51–0,52	6,0	16,3–19,4	0,95
1,8–2,0	20	0,81–0,82	0,50–0,52	—	15,4–16,3	1,20
2,5	20	—	—	—	—	0,85
3,0	20	0,88	0,72	—	—	—
3,4	20	0,82	—	—	—	—
3,9	20	0,75	0,54	—	—	—
5,3	20	—	—	—	16,1	0,54
5,5	20	—	—	—	—	0,42
1,7	300	0,46	0,34	10,0	—	—
3,1	300	0,45	0,33	6,0	—	—
0,7	350	0,36	0,27	14,3	—	—
2,0	350	0,35	0,23	—	—	—
3,9	350	0,33	0,21	—	—	—
2,0	400	0,28	0,23	—	—	—
4,0	400	0,22	0,17	10,0	—	—

Понижение температуры до минусовой, наоборот, повышает прочностные характеристики осадков никеля. В связи с этим электроосажденный никель рекомендуется для изготовления баллонов в криогенной технике. В табл. 6 приведены данные изменения

Таблица 6
Изменение прочностных характеристик осадков никеля, осажденных из сульфатного электролита при отрицательных температурах

Температура	σ_B , ГПа, при толщине осадка			σ_B , ГПа, при толщине осадка			δ , %, при толщине осадка		
	0,6	1,2	2,2	0,6	1,2	2,2	0,6	1,2	2,2
–19	1,02	1,0	0,99	0,69	0,56	0,53	13	21	22
–38	0,88	0,87	0,76	0,54	0,56	0,53	6	14	17
(–18)–(–25)	0,81	0,76	0,75	0,54	0,50	—	7	12	14

прочности и относительного удлинения осадков никеля, осажденных из сульфатного электролита при отрицательных температурах

Механические свойства осадков никеля, так же как твердость и внутренние напряжения, зависят от режимов осаждения и состава электролитов

На рис. 16 приведены зависимости предела текучести и относительного удлинения никелевых осадков, полученных из сульфатного электролита, от катодной плотности тока. Из приведенных данных видно, что предел текучести осадков при повышении катодной плотности тока уменьшается (кривая 1). Относительное удлинение осадков никеля с повышением плотности тока увеличивается (кривая 2).

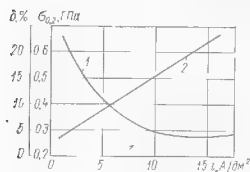


Рис. 16. Влияние плотности тока: 1 — на предел текучести; 2 — на относительное удлинение осадков никеля

Повышение температуры никелевых электролитов в пределах 30—60 °С несколько снижает прочность осадков и повышает их пластичность. При изменении pH от 1,75 до 5,5 предел прочности повышается с 0,45 до 1,07 ГПа, а относительное удлинение падает с 17 до 6 %. Твердость увеличивается от 1,37 до 1,76 ГПа

Содержание основных компонентов, за исключением хлорида никеля, оказывает незначительное влияние на прочностные характеристики. Увеличение концентрации хлорида никеля от 5 до 8 г/л увеличивает предел прочности осадков на 13—15 %. Одновременно уменьшается пластичность осадков, так как в них увеличиваются внутренние напряжения. Введение в электролит органических добавок способствует повышению прочностных характеристик осадков никеля. Так, добавка 1,3,6-трисульфонафталиновой кислоты позволяет получить осадки с пределом прочности до 1,04 ГПа

Высокие прочностные свойства (0,78—0,83 ГПа) при достаточно высоком относительном удлинении (13—18 %) имеют осадки никеля с добавкой карбида вольфрама до 24 %.

Исследовались также свойства никелевых осадков, осажденных из сульфатных электролитов, как пористость, коррозионная стойкость и стойкость к окислению при высоких температурах, способность к свариваемости с другими материалами

Пористость никелевых осадков сохраняется до толщины 20—30 мкм. При толщине 50 мкм осадки практически беспористые, поэтому тонкостенные детали, изготовленные электролитическим формованием, способны работать под давлением, не допуская утечки газов или жидкостей

Никель, вследствие сильно выраженной склонности к пассивированию, достаточно стоек против атмосферной коррозии. Коррозионная стойкость никелевых осадков в соевом гумате и в промышленной атмосфере сравнима с коррозионной стойкостью металлургических сплавов на основе никеля, а также коррозионно-стойкой стали марки 12Х18Н10Т.

Никелевые осадки устойчивы к воздействию щелочей и некоторых кислот, что обеспечивает применение никелевой гальванопластики в химической промышленности. Скорость окисления электролитических никелевых осадков при повышенных температурах (до 1000 °С) достаточно высокая и почти одинаковая со скоростью окисления металлургического никеля, а при более высоких температурах скорость окисления возрастает (рис. 17). При 1200 °С на поверхности никеля наблюдается образование темно-коричневой окисной пленки

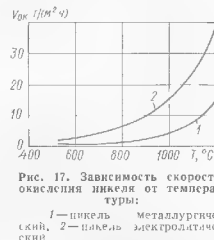


Рис. 17. Зависимость скорости окисления никеля от температуры:

1 — никель металлургический, 2 — никель электролитический

Никелевые осадки хорошо свариваются с другими металлами, например с коррозионно-стойкой сталью, со сталью 20.

15. Структура и свойства железа

Электролитическое железо по сравнению с никелем реже используется в гальванопластике. Это связано с коррозионной неустойчивостью осадков железа и нестабильностью электролитов для их осаждения. Однако физико-механические свойства электроосажденного железа (твердость, прочностные характеристики) позволяют рассчитывать на то, что в комбинации с никелевым и хромовым покрытиями приспосабливаются их будет расти

По твердости осадки железа близки к стали, поэтому в ряде случаев они могут использоваться взамен никеля, имеющего высокие стоимость и дефицитность. Повышенная твердость электролитического железа объясняется образованием твердых растворов

вследствие растворения водорода в осадке в процессе осаждения. Образование твердого раствора водорода в железе вызывает изменение параметров решетки железа и его структуры. Одновременно с повышением твердости увеличивается и хрупкость осадков. При нагреве до 300 °C адсорбированный водород удаляется из осадков, а при 700 °C начинается удаление водорода из твердого раствора. При нагреве до 200 °C твердость осадков железа остается неизменной, при температуре 300 °C она повышается на 70 % от первоначальной, а при дальнейшем нагреве понижается.

Микроструктура неотожженного электролитического железа характеризуется плотными нглями, перпендикулярными к поверхности катода. Нагрев несколько измельчает структуру осадка, но при 600 °C происходит рекристаллизация и в структуре преобладают большие продолговатые зерна, направленные перпендикулярно к поверхности осаждения.

Для осадков железа, полученных из сульфатного электролита, характерно наличие в них высоких внутренних напряжений. Добавка тиомочевны уменьшает напряжения и даже меняет их знак, однако осадки остаются хрупкими. Вследствие этого данные электролиты используются лишь в тех случаях, когда необходимо вести процесс осаждения при невысоких температурах (например, при использовании форм из воска). Микротвердость осадков, полученных из сульфатного электролита, составляет около 1,9 ГПа, предел прочности — 0,33 ГПа и относительное удлинение — около 10 %.

Наиболее приемлемыми для газаволопластики являются фторборатные электролиты, отличающиеся наибольшей устойчивостью к воздействию кислорода воздуха и хорошими буферными свойствами вследствие присутствия фторбората железа. Из данных электролитов получают мелкокристаллические осадки, качество которых в значительной степени зависит от температуры электролита. Хорошие осадки получают только при температуре электролита не ниже 40 °C. При более низкой температуре осаждаются темные растрескивающиеся осадки.

Внутренние напряжения осадков железа, полученных из фторборатного электролита, меньше, чем в осадках, полученных из сульфатного электролита. Величина внутренних напряжений зависит от pH электролита и режимов осаждения. На рис. 18 показана зависимость внутренних напряжений осадков железа от pH электролита и катодной плотности тока. Как видно из этого рисунка, внутренние напряжения увеличиваются при повышении pH электролита, причем при низких значениях pH они мало зависят от катодной плотности тока. При pH 2,3 с повышением катодной

плотности тока заметно увеличиваются внутренние напряжения в осадках, что иногда является причиной их растрескивания. Осадки большой толщины (до 4 мм), не имеющие трещин, можно получить лишь при плотности тока до 4 А/дм² в электролитах с pH 1,8—2,0.

Применение реверсированного тока позволяет уменьшить внутренние напряжения в осадках железа, полученных из фторборатного электролита. Осадки с внутренними напряжениями 0,059—0,068 ГПа были получены при следующем режиме электролиза: $i_k : i_s = 14 : 2$ при катодной плотности тока 7,5 А/дм² ($i_s = 5$ А/дм²); температуре электролита 60 °C и pH 1,8 (рис. 19).

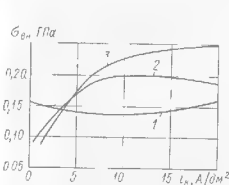


Рис. 18. Влияние pH и катодной плотности тока на внутренние напряжения осадков железа, полученных из электролита, содержащего 36 г/л $\text{Fe}(\text{BF}_4)_2$, при температуре электролита 60 °C; толщина осадков 10 мкм: 1—pH 1,2; 2—pH 1,8; 3—pH 2,3

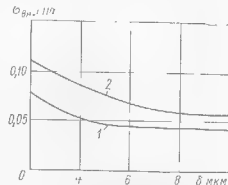


Рис. 19. Зависимость внутренних напряжений железа от толщины осадков, полученных из фторборатного электролита при использовании реверсированного тока при $i_k : i_s = 14 : 2$; $i_s = 5$ А/дм²; 1—pH 1,8; 2—pH 2,25

С увеличением толщины осадков, как это видно из рис. 19, внутренние напряжения уменьшаются.

Твердость осадков железа, получаемых из фторборатного и сульфатного электролитов, примерно одинакова. С увеличением катодной плотности тока от 2 до 4 А/дм² микротвердость осадков увеличивается от 1,7 до 2,2 ГПа. При более высокой плотности тока наблюдается снижение твердости осадков.

Перспективными для гальванопластических процессов являются сульфаматные электролиты железистая, получившие наибольшее распространение в Японии. Из этих электролитов получают менее напряженные осадки, мало уступающие по твердости осадкам из сульфатного и фторборатного электролитов.

Так, при изменении катодной плотности тока от 2 до 4 А/дм² микротвердость осадка из фторборатного электролита повышается

с 1,70 до 2,26 ГПа, а осадка из сульфатного электролита — с 1,48 до 1,99 ГПа

Мягкие и пластичные осадки получают из хлоридных электролитов железа, причем с повышением температуры и понижением катодной плотности тока осадки из данных электролитов становятся более мягкими и пластичными. При низких плотностях тока могут быть получены осадки с относительным удлинением до 40 %. Предел прочности таких осадков невысокий и изменяется в зависимости от условий электролиза от 0,10 до 0,27 ГПа.

Внутренние напряжения в осадках железа из хлоридных электролитов относительно невысокие и уменьшаются по мере увеличения их толщины. С повышением катодной плотности тока и понижением температуры электролита внутренние напряжения увеличиваются. В связи с этим процесс осаждения ведут обычно при высоких температурах. Это требует безкоррозийной работы вентиляционной системы, поскольку в состав хлоридных электролитов входит соляная кислота.

16. Структура и свойства сплавов

Наиболее широкое применение для гальванопластики нашли сплавы никеля с кобальтом. Благодаря их высокой твердости (42–50 НРС) и хорошей коррозионной стойкости они используются в качестве рабочего слоя при изготовлении пресс-форм для переработки термопластов. Из никель-кобальтового сплава изготавливают также сопла и другие детали, к которым предъявляются повышенные требования по износостойкости.

Эти сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью и используются как магнитотвердый материал.

Для осаждения сплавов никеля с кобальтом используются в основном два электролита: сульфатный и сульфаматный; причем последний постепенно вытесняет сульфатный электролит. Осадки, получаемые из сульфатного электролита, достаточно твердые, но имеют большие внутренние напряжения, тогда как в сульфаматном электролите внутренние напряжения значительно ниже. Осадки сплава, получаемые из сульфаматного электролита, по твердости одинаковы с осадком из сульфатного, но более пластичны и легче подвергаются различным видам механической обработки. Электроосажденные сплавы никеля с кобальтом характеризуются мелкозернистой структурой с величиной зерна до $1 \cdot 10^{-5}$ см. Тип структуры никель-кобальтовых сплавов — столбчатый, хотя часто наблюдается слоистое строение. Отжиг осадков при 430 °C в те-

чение 2 ч приводит к началу распада столбчатой структуры и понижению твердости. После нагрева при 750 °C наблюдаются полная рекристаллизация осадков и снижение твердости до 2,2 ГПа.

Для сплавов с содержанием кобальта 20–40 % отмечаются максимальные значения твердости, прочности и удельного сопротивления. Предполагается, что в данных сплавах формируется фаза CoNi_3 — сверхструктура, которая вызывает изменение свойств.

Сплавы с содержанием 40–75 % кобальта характеризуются режимом увеличением внутренних напряжений в осадках, которые становятся очень хрупкими и непригодными для получения деталей.

Внутренние напряжения в осадках сплавов никель — кобальт увеличиваются по мере повышения в них содержания кобальта до 70 % (рис. 20). Как видно из данных, приведенных на рис. 20, максимальные значения внутренних напряжений имеют осадки, содержащие 60–80 % Со.

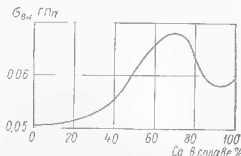


Рис. 20. Зависимость внутренних напряжений осадков сплавов никель — кобальт, полученных из сульфаматного электролита, от содержания в них кобальта

С повышением катодной плотности тока внутренние напряжения в осадках сплавов никель — кобальт обычно увеличиваются. Из рис. 20 видно, что осадки, содержащие 20–40 % кобальта и обладающие наибольшей твердостью, имеют внутренние напряжения в пределах 0,07 ГПа.

Внутренние напряжения в осадках сплавов никель — кобальт зависят от материала формы, на которую производится осаждение. При осаждении на основу из латуни и стали марки 20 возникают внутренние напряжения растяжения (0,02–0,08 ГПа), а на стали 40Х13 и алюминиевом сплаве Д16 — внутренние напряжения сжатия (0,01–0,24 ГПа), что необходимо учитывать при выборе материала форм, согласуя его с конфигурацией изготавливаемой детали.

При изготовлении деталей из сплавов с высокой твердостью отмечается растрескивание осадков, получаемых даже в сульфаматных электролитах. В связи с этим в электролиты добавляют сахарин в количестве 0,05 г/д, что приводит к уменьшению внутренних напряжений.

Твердость осадков сплава никель — кобальт в зависимости от их состава изменяется по кривой с максимумом. На рис. 21

Влияние состава сплава никель—кобальт и катодной плотности тока на микротвердость осадков

Концентрация кобальта в электролите, г/л	Концентрация кобальта в осадке, %	Катодная плотность тока А/дм ²	Микротвердость
1,05	7,0	4	4,1
	5,4	8	3,7
	3,2	15	2,9
	4,4	30	2,7
3,29	20,3	4	4,3
	18,9	8	3,8
	17,8	15	3,3
	15,7	30	3,7
4,85	31,5	4	4,6
	31,5	8	4,5
	29,5	15	4,4
	27,5	30	4,3
9,7	50,5	4	4,2
	48,5	8	4,3
	43,0	15	4,4
	32,5	30	4,3

показано изменение микротвердости в зависимости от состава осадков сплавов, полученных из сульфаматного (кривая 1) и сульфатного (кривая 2) электролитов. Максимальной микротвердостью (4,4—4,5 ГПа) обладают осадки, содержащие от 20 до 40 % Со

Микротвердость осадков сплавов никель—кобальт, полученных из сульфаматного электролита, уменьшается с повышением катодной плотности тока. На рис. 22 показано изменение микротвердости осадков сплава никель—кобальт от катодной плотности тока в интервале значений, наиболее часто используемых в

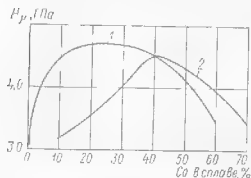


Рис. 21. Зависимость микротвердости осадков сплавов никель—кобальт от содержания в них кобальта:

1—сульфаматный электролит;
2—сульфатный электролит

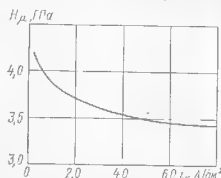


Рис. 22. Зависимость микротвердости осадков сплава никель—кобальт от катодной плотности тока в сульфаматном электролите с суммарной концентрацией сульфамата никеля и кобальта 300 г/л при их соотношении, равном 16, и температуре 50 °С

гальванопластических процессах. За рубежом получили распространение высококонцентрированные сульфаматные электролиты для осаждения сплава никель—кобальт [2]. В табл. 7 приведены данные изменения микротвердости в зависимости от катодной плотности тока и состава осадков, полученных в электролите с суммарной концентрацией сульфаматов никеля и кобальта 600 г/л.

Из приведенных данных видно, что с повышением катодной плотности тока микротвердость осадков уменьшается, причем это наиболее заметно для сплавов, содержащих до 30 % кобальта. Для сплавов, более богатых кобальтом, с повышением плотности тока твердость изменяется незначительно.

При сравнении значений твердости, приведенных на рис. 22 и в табл. 7, очевидно, что в менее концентрированных электролитах осадки сплава одного и того же состава обладают более высокой микротвердостью. Это хорошо подтверждается полученными данными о микротвердости в зависимости от суммарной концентрации сульфамата никеля и кобальта при постоянном их

соотношения, равном 16. Температура электролита составляла 50 °С, pH 3,5, катодная плотность тока 3,0 А/дм². При этих условиях изменение суммарной концентрации металлов в электролите с 250 до 650 г/л приводит к падению микротвердости с 4,49 до 2,50 ГПа, что объясняется укрупнением структуры осадков.

Повышение температуры сульфаматного электролита с 30 до 60 °С практически не изменяет микротвердости осадков. Незначительное влияние на твердость оказывает сахарин, добавляемый для понижения внутренних напряжений. С увеличением концентрации сахарина от 0,05 до 0,5 г/л микротвердость осадков увеличивается от 3,4 до 4,3 ГПа.

Сплавы никеля с кобальтом обладают высокой механической прочностью, сравнимой с прочностью коррозионно-стойких сталей. Прочность осадков зависит от содержания в них кобальта, а также от условий электролиза. С увеличением толщины осадков сплава предел прочности их падает; прочность осадков толщиной 0,05 мм (рис. 23) примерно в 1,5 раза выше прочности осадков толщиной 1 мм.

На рис. 24 приведена зависимость предела прочности осадков сплава никель—кобальт от их состава. Как видно из зависимо-

сти, предел прочности осадка в сплаве изменяется в широком диапазоне (от 0,48 до 1,37 ГПа) в зависимости от содержания в них кобальта. Наибольшую прочность имеют осадки, содержащие от 60 до 80 % никеля. Как было показано выше, осадки этого состава обладают наибольшей твердостью. Осадки с большим содержанием кобальта имеют небольшой предел прочности и отличаются повышенной хрупкостью и поэтому практически не используются для изготовления деталей.

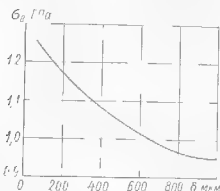


Рис. 23. Зависимость предела прочности осадков сплава никель — кобальт от их толщины в электролите с суммарной концентрацией сульфата никеля и кобальта (в пересчете на металл) 63,8 г/л; 40 г/л H_2BO_3 ; 2 г/л $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ при pH 3,5; температура 60 °C; $i_K = 5 \text{ А/дм}^2$

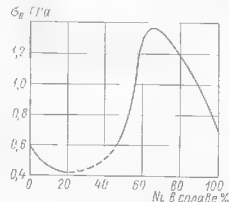


Рис. 24. Зависимость предела прочности осадков сплава никель — кобальт от их состава в электролите с суммарной концентрацией сульфата никеля и кобальта (в пересчете на металл) 62—94 г/л; 30 г/л H_2BO_3 ; 15 г/л NiBr_2 при pH 4; температура 50 °C; $i_K = 3 \text{ А/дм}^2$

Заметное влияние на прочностные характеристики сплавов никель — кобальт оказывает изменение катодной плотности тока. С повышением силы тока предел прочности осадков снижается. Это объясняется не только уменьшением в них содержания кобальта, но и структурными изменениями. Относительное удлинение осадков с повышением плотности тока значительно увеличивается.

Некоторое влияние на прочностные характеристики сплавов никель — кобальт оказывает температура электролита, а также совместное изменение состава электролита и режимов осаждения. В табл. 8 приведены значения прочностных характеристик осадков сплава при наиболее часто используемых на практике режимах осаждения.

Термическая обработка электроосажденных сплавов при температурах выше 300 °C приводит к снижению твердости и прочности осадков. Однако при этом увеличивается относительное удлинение.

Таблица 8

Прочностные характеристики сплавов никель — кобальт, полученных из сульфатного электролита

Удельная прочность осадков, кг/см ²	Температура, °C	Катодная плотность тока, А/дм ²	Предел прочности, ГПа	Предел текучести, ГПа	Предел удлинения, ГПа	Относительное удлинение, %
10	41	2	1,37	1,30	1,12	3,7
	61	2	1,38	1,34	1,15	4,3
	40	5	1,40	1,40	1,20	4,5
	61	5	1,47	1,35	1,14	4,6
10	40	2	1,22	1,18	1,01	3,8
	61	2	1,27	1,17	1,09	4,3
	40	5	1,29	1,23	0,97	3,7
	61	5	2,14	1,07	0,94	2,6

Стоимость к окислению осадков сплава никель — кобальт ниже, чем осадков чистого никеля и металлургических сплавов. На рис. 25 приведена зависимость скорости окисления сплавов никель — кобальт, полученных электроосаждением (20 % Co) и металлургическим путем (40 % Co) в интервале температур 600—1200 °C.

Скорость окисления осадков сплава при 600 °C составляет 0,337 г/м²ч. В интервале температур от 800 до 1000 °C скорость окисления заметно увеличивается и резко возрастает при дальнейшем повышении температуры. При этом на поверхности осадка появляется плотная блестящая окисная пленка черного цвета. Прямая жаростойкость электроосажденного сплава никель — кобальт ограничивает его применение для получения деталей, работающих в условиях повышенных температур.

Для сплавов никель — кобальт проверялась зависимость коэрцитивной силы от состава и условий осаждения. Установлено,

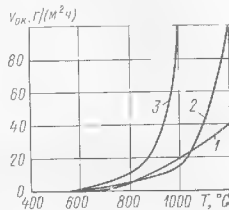


Рис. 25. Зависимость скорости окисления сплавов никель — кобальт от температуры: 1 — электролитический никель; 2 — металлургический сплав никель — кобальт; 3 — электролитический сплав никель — кобальт

что максимум коэрцитивной силы (17–20 кА/м) соответствует осадкам, содержащим около 30 % никеля, т. е. никель — кобальтовый сплав может использоваться как магнитостойкий материал.

Другим сплавом, применяемым в гальванопластике, является никель — железо. Осадки сплава никель — железо отличаются мелкокристаллической структурой и хорошими механическими свойствами. Эти сплавы, содержащие не более 20 % железа, обладают высокой коррозионной стойкостью и являются магнитомягкими

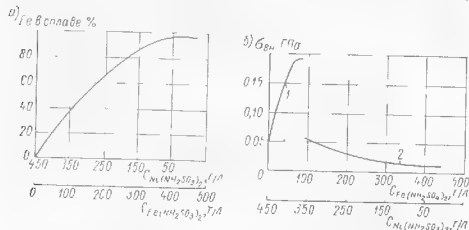


Рис. 25. Зависимость состава (а) и внутренних напряжений (б) осадков сплава никель—железо от соотношения концентраций сульфатов никеля и кобальта в электролите:
1 — без добавки сахара; 2 — с добавкой сахара

Недостатками электролитических сплавов никель — железо являются их хрупкость и наличие в них высоких внутренних напряжений. Кроме того, электролиты для осаждения данных сплавов отличаются нестабильностью. Эти факторы объясняют ограниченное применение железоникелевых сплавов по сравнению со сплавами никель — кобальт. Тем не менее они уже нашли применение для изготовления тонкой фольги и лент, используемых для магнитной записи.

По фазовому составу сплавы никель — железо представляют собой твердые растворы, причем при содержании в них до 25 % никеля сплав имеет решетку типа железа, а более 30 % — решетку типа никеля.

При осаждении железоникелевых сплавов из сульфатного электролита для осадков, содержащих от 17 до 30 % железа предполагается появление фазы химического соединения состава Ni_3Fe [14]. Это сопровождается резким изменением физико-механических свойств осадков и повышением их хрупкости (рис. 26, а).

При металлографическом исследовании поперечного среза осадков, содержащих 17 % железа, выявляется столбчатая струк-

тура с четко выраженной слоистостью. После термической обработки в вакууме в течение 1 ч при 700 °С происходит укрупнение структуры. Слоистое строение обнаруживается для осадков сплава, полученных из сульфатнохлоридного электролита. После отжига осадков слоистость исчезает и появляются более равноосные зерна.

Внутренние напряжения в осадках сплавов никель — железо, полученных из сульфатного электролита, возрастают с увеличением содержания в них железа. При содержании в осадках железа чуть больше 20 % внутренние напряжения достигают 0,18 —

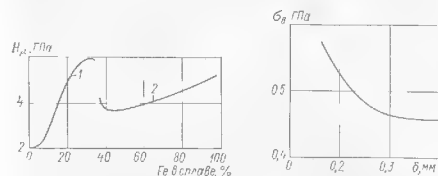


Рис. 27. Зависимость твердости осадков сплава никель—железо от их состава в сульфатном электролите:
1 — электролит без добавки сахара; 2 — с добавкой сахара

Рис. 28. Зависимость предела прочности осадков сплава никель — железо, полученных из сульфатного электролита, от их толщины

0,19 ГПа и приводят к растрескиванию осадков. Введение сахара в количестве 2 г/л позволяет значительно снизить внутренние напряжения (рис. 26, б).

Зависимость твердости осадков сплава никель — железо от содержания в них железа для сульфатного электролита приведена на рис. 27. Максимальные значения твердости (до 6 ГПа) наблюдались для осадков с содержанием железа 17–30 %.

Предел прочности осадков сплава никель — железо относительно невысокий. Из-за хрупкости не удалось исследовать осадки большой толщины. На рис. 28 показано изменение предела прочности осадков от их толщины. По данным работы [11], прочность осадков с содержанием железа от 5 до 10 % увеличивается по сравнению с чистым никелем, а затем резко снижается.

Исследование тонкой железоникелевой фольги, полученной из сульфатхлоридного электролита, показало, что свежосажденные образцы имеют значительное количество микротрещин. После отжига при 400 °С в течение 15 мин осадки становились более пластичными. Уменьшить хрупкость осадков удастся также путем

пведения в электролит натриевой соли 1,3,6-трисульфанафталиновой кислоты

Физико-механические свойства осадков сплава никель-железо зависят также от условий осаждения: наибольшее влияние оказывает изменение катодной плотности тока и pH электролитов, изменение температуры оказывает незначительное влияние.

Сплавы никеля с вольфрамом также обладают повышенной твердостью. Осадки, содержащие всего лишь 0,2 % вольфрама, имеют твердость 4,6 ГПа, а осадки с содержанием до 1 % вольфрама — 5,6 ГПа. Прочность данных осадков находится в пределах 0,8—0,9 ГПа. Она несколько уступает прочности никель-кобальтовых осадков, но выше прочности осадков чистого никеля.

VI

ПРИМЕРЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКИ

17. Изготовление оригиналов и матриц в производстве грамофонных пластинок

Изготовление оригиналов и матриц в производстве грамофонных пластинок является одним из наиболее развитых гальванопластических процессов. Тем не менее технология получения матриц постоянно совершенствуется, что улучшает качество грамофонных пластинок.

Процесс производства грамофонных пластинок состоит из двух этапов: записи звука и размножения записи. Это размножение производится в два приема: сначала получают гальванопластическим способом металлические копии записи звука оригиналы и матрицы, затем с изготовленных матриц методом прессования из пластической массы снимают копии записи, которые и служат грамофонными пластинками.

Механическая запись — предсказание фонограммы с магнитной ленты — производится на тондиске, который вращается с постоянной угловой скоростью. Записывающему прибору с резцом сообщается поступательное движение вдоль радиуса диска от края к центру, в результате чего на диске образуются низкочастотные канавки, изображенные на рис. 29.

Тондиск имеет тонкую алюминиевую основу сверхточной обработки, покрытую с двух сторон слоем специального нитрида толщиной около 0,2 мкм. Диаметр диска составляет 175 и 300 мм. Для записи используется только одна сторона. Звучные канавки

глубиной 30 (долонгтраунс) и 70 мкм (обычные) нарезаются на заготовочном слое. Плотность записи 10–15 канавок/мм [22].

Тондиск неудобно использовать для воспроизведения звука, так как он недостаточно прочен и быстро изнашивается. С тондиска с записью фонограммы, являющегося позитивом, получают первый оригинал путем осаждения никеля.

Первый оригинал может служить для прессования пластинок — на них получается правильное (позитивное) изображение записи, как и на тондиске; этого, однако, не делают по двум причинам. Во-первых, с одного оригинала можно отпрессовать не более 500 пластинок, а тиражи пластинок иногда достигают миллионов экземпляров; а во-вторых, если первый оригинал случайно

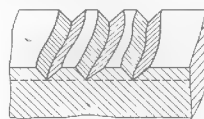


Рис. 29. Носитель записи звука с модулированными канавками (увеличение в 100 раз)

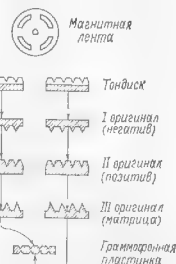


Рис. 30. Технологическая схема гальванопластического размножения оригиналов

портится, запись придется повторять, так как тондиск нельзя использовать дважды. В связи с этим первый оригинал имеет только одно назначение: с него получают следующие металлические оригиналы. Обычно с одного первого оригинала можно снять десять вторых оригиналов. Второй оригинал — это уже позитивное изображение записи. Его можно проиграть, но им нельзя прессовать пластинки. Со второго оригинала также гальванопластическим путем получают третий оригинал (негатив), с третьего оригинала — четвертый (позитив), затем с него получают пятый оригинал (негатив). Матрицами служат третий и пятый оригиналы. Таким образом с одного записанного тондиска можно получить до 1400 матриц. Схема гальванопластического размножения оригиналов показана на рис. 30 [18].

Для получения гальванопластической копии поверхность тондиска с записанной фонограммой предварительно металлизируют путем химического осаждения слоя серебра толщиной

0,08–0,15 мкм. При металлизации тондиска необходимо учитывать два момента: во-первых, нежелательно прочное сцепление наносимой металлической пленки с поверхностью диска, поскольку в дальнейшем необходимо отделить лаковый тондиск от электролитической металлической формы, во-вторых, при очистке на поверхности тондиска не должно оставаться даже следов грязи или жира. Операция очистки должна производиться очень осторожно, так как частицы пыли, имеющие острые края, могут повредить тонкие музыкальные канавки и поцарапать пленку лака. Механические повреждения поверхности тондиска переходят в дальнейшем на металлическую копию и грампластинку, являясь источником дефекта (шипение).

Для обезжиривания тондиска используются растворы, содержащие один из следующих препаратов: сапонин, тринатрийфосфат, лигнисульфоновую кислоту. Операцию осуществляют в приготовленном растворе при комнатной температуре в течение 15–20 мин. Обезжиренный тондиск переносят в раствор, содержащий 150–200 г/л хромовой кислоты, и выдерживают в нем при комнатной температуре в течение 30 с. После этого следует тщательная промывка и сенсибилизация в растворе хлористого олова (5–10 г/л) с добавлением 1 мл/л 35 %-ной соляной кислоты. Далее производят операцию серебрения, используя три раствора: раствор 1, содержащий 240 г/л нитрата серебра и 375 мл/л 25 %-го гидроксида аммония; раствор 2, содержащий 32 г/л гидроксида натрия и 140 г/л 25 %-го гидроксида аммония; раствор 3, содержащий 80 г/л глюкозы и 32 мл/л формалина (40 %-го).

Рабочий раствор для серебрения получают путем введения в 1 л дистиллированной воды по 30 мл растворов 1 и 2. Для приготовления рабочего раствора восстановителя в 1 л дистиллированной воды добавляют 30 мл раствора 3.

В производстве матриц процесс серебрения тондисков осуществляют с помощью двух- или трехсоловых чистотетов. В этом случае растворы, используемые для серебрения, поступают отдельно из каждого сопла на лаковую поверхность вращающегося диска, расположенного на расстоянии 15–20 см в специальной кабине. Поддача растворов производится под давлением 0,3–0,4 МПа, создаваемым воздушным компрессором. Это обеспечивает распыление растворов и получение равномерного осадка на поверхности диска. Качеству серебряного слоя придается большое значение. Осадок должен быть беспримесным и не должен иметь на поверхности серых пятен, поскольку они являются основной причиной возникновения щелчков и потрескиваний при проигрывании готовых грампластинок. Электролитическое сопротивление

слоя серебра, измеренное от центра до края диска, не должно превышать 1 Ом.

После нанесения слоя серебра и тщательной промывки тондиск готов для осаждения никеля и получения первого оригинала. Влажный металлизированный тондиск помещают в ванну никелирования следующего состава (г/л): сульфат никеля 300–400, хлорид никеля 10–20, борная кислота 30–40, лаурилсульфат натрия 0,01–0,05, pH 3,5–4,5. Режим осаждения первичного никелевого слоя (затяжки серебряного слоя): температура электролита 30–40 °C, катодная плотность тока 0,5–2,0 А/дм². Толщина осаждаемого слоя для затяжки составляет 5–15 мкм. После осаждения первичного слоя на диск быстро накладывают резиновое кольцо для экранирования бортов и продолжают осаждение никеля при катодной плотности тока 15–25 А/дм² до толщины слоя 0,3–0,5 мм. По окончании наращивания металлическую копию, являющуюся первым оригиналом, отделяют от лакового диска. Для этого резцом обтачивают края диска и разделяют тондиск и копию.

Первый оригинал после растворения слоя серебра в разбавленной хромовой кислоте обрабатывают аммиачным раствором перекиси водорода. Затем поверхность оригинала со стороны записи обрабатывают на вращающейся планшайбе щетками из козьей или верблюжьей шерсти пастой окиси хрома, разведенной в бензине. Перед погружением оригинала в никелевую ванну поверхность его обезжиривают и наносят раздельный слой путем обработки в растворах хромовой кислоты или бихромата калия (0,5–2,0 г/л). Таким образом получают второй и последующие оригиналы. Толщина получаемых оригиналов составляет 0,3–0,6 мм, толщина матриц от 0,2 до 0,5 мм. Матрицы для прессования грампластинок, как указывалось выше, получают со вторых и четвертых оригиналов.

Для уменьшения адгезии пластмассы к никелевой поверхности никелевые матрицы хромируют. Конечной операцией изготовления матриц и оригиналов является вырубка центров обрезания бортов, шлифование тыловой стороны и обжим копии на прессе для придания ей плоскостности.

Для изготовления матриц для прессования пластмассовых видеопластинок японские фирмы предлагают получать гальванопластические негативные оригиналы осаждением первого слоя плава никель–кобальт толщиной 10 мкм с содержанием кобальта в осадке до 30 %. Осаждение сплава осуществляется из сульфатного электролита при плотности тока 3 А/дм² в течение 15 мин.

Большое внимание в производстве оригиналов и матриц уделяется качеству и физико-механическим свойствам получаемых изделий. В связи с этим все технологические операции следует производить с особой тщательностью. В процессе размножения копий с тондиска появляется множество дефектов, которые ухудшают качество поверхности. Основные причины дефектов следующие: недостаточная очистка тондисков от загрязнений, некачественное серебрение, загрязнение ванны никелирования различными примесями, несоблюдение режимов осаждения никеля и выполнения других операций.

Особое внимание уделяется работе ванн никелирования и физико-механическим свойствам получаемых осадков. Никелевый электролит, в котором осуществляется затяжка лаковых дисков, должен обеспечивать получение осадков с минимальными внутренними напряжениями. Если напряжения будут велики, то в готовом грамофонной пластинке может возникнуть так называемый дефект «эхо». Минимальные внутренние напряжения (до 0,019 ГПа) получают путем тщательной проработки электролитов, а также путем введения органических добавок, таких как сахара, толуолсульфонит и др.

Никелевые матрицы должны быть эластичными: их твердость должна находиться в пределах 1,47–1,96 ГПа. Первый и вторые оригиналы могут быть изготовлены из менее эластичного никеля, но без больших внутренних напряжений. Готовые матрицы подвергают испытаниям на прочность при растяжении и на изгиб. Матрицы, полученные на Апрельском заводе грамофонных пластинок, имеют следующие прочностные характеристики: предел прочности 0,58–0,68 ГПа, относительное удлинение 10–15 %, число перегибов на 180° от 20 до 30 [18].

Для наращивания никеля в производстве оригиналов и матриц используется специализированное оборудование, которое должно обеспечить быстрое получение толстых слоев металла и хорошее качество осадков.

Для напеснения никеля на поверхность тондисков обычно используют ванны с качающимися катодом емкостью 150–200 л, позволяющие одновременно завешивать от 4 до 8 тондисков. Скорость движения катодов от 10 до 20 качаний в минуту. Корпус ванны изготавливают обычно из винипласта или полиэтилена. Ванны оборудуют фильтр-прессом, так как очистка растворов в производстве матриц приобретает особое значение. Необходимо обеспечить исключительную физическую чистоту электролитов, поскольку любые, самые малые частицы могут привести к образованию некачественных осадков. Внешний вид ванны для осажде-

ния никеля на тондиски показан на рис. 31. С целью ускорения процесса осаждения используют установки, состоящие из ряда одноименных ванн с вращающимся катодом и обеспечивающие постоянную циркуляцию электролита. Это позволяет повысить

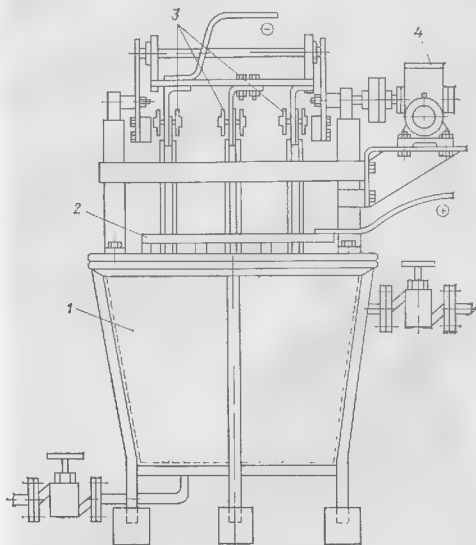


Рис. 31. Гальваническая ванна с качающейся штангой для наращивания оригиналов:

1—гальваническая ванна; 2—анод; 3—качающиеся катоды; 4—электродвигатель

рабочую катодную плотность тока от 15 до 200 А/дм². Вращающийся катод располагается сверху над анодом, который помещен на свинцовую сетку. Анодный шлам, появляющийся в процессе осаждения, оседает на дно ванны и затем переносится в резервуар сборник, входящий в систему установки.

Катод приводится во вращение двигателем с приводом, расположенным на крышке ванны

В установках другой конструкции вращающиеся катоды располагаются наклонно. Аноды укрепляются параллельно поверхности катодов. Раствор электролита интенсивно перемешивается сжатым воздухом в области катодного пространства

Имеются установки, состоящие из одной большой ванны емкостью 5—6 м³, в которую погружено 4 вращающихся катодов с индивидуальным приводом к каждому. Питание постоянным током со счетчиками ампер-часов также осуществляется для каждого катода отдельно. Ванны снабжены терморегуляторами и системами нагрева для поддержания постоянной температуры электролита. В системе установки предусмотрены емкости для химической очистки электролита и установки для перекачки и фильтрации его. В таких установках наращивание оригиналов и матриц осуществляется при катодной плотности тока 15—30 А/дм²

В последние годы для изготовления никелевых матриц применяют автоматы. Первый автомат был построен по принципу переноса катода из ванны в ванну по ходу технологического процесса, начиная от подготовки поверхности лакового тондиска до осаждения никеля требуемой толщины. Производительность автомата 50 матриц в час

В другом варианте автомата катод остается в стационарном положении в одной ванне, но осуществляется последовательная прокачка через эту ванну ячейку необходимых растворов и электролитов. Время изготовления одной матрицы в таком автомате составляет 90 мин

18. Сетки, ленты, фольга

Гальванопластика является наиболее эффективным методом изготовления сеток и сит, используемых в различных устройствах и системах, так как позволяет получать отверстия самой различной формы (круглые, квадратные, прямоугольные) без применения специального оборудования. Размеры отверстий изготавливаемых сеток могут изменяться от нескольких десятков миллиметров до 5 мкм. Можно получать сетки различных площади и конфигурации. Потребителями тонких сеток являются заводы газовой и химической промышленности, предприятия радиоэлектронной промышленности. Сетки часто используются для масляных, топливных и воздушных фильтров. Никелевые сита используются в центрифугах для фильтрации растворов на сахарных заводах. Хорошо зарекомендовали себя сетки, используемые в качестве неподвижных ножей в электрических бритвах.

В промышленности используются две схемы гальванопластического изготовления сеток. Одна из них заключается в электроосаждении металла (материала сетки) на гравированную и металлизированную матрицу-катод. Для этого матрицу из органического или другого специального стекла гравировали в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью специального устройства. После гравировки матрицу металлизуют. Так, в производстве мелкоструктурных сеток, используемых в электронно-лучевых трубках, гравированные матрицы металлизуют путем вакуумного напыления тонкого слоя наладина. После напыления производят удаление металла с участков будущих ячеек сетки. После протирки матрицу заворачивают в гальваническую ванну и наращивают слой металла требуемой толщины. По окончании процесса удаляют «замки» с торцов матрицы (если они образуются) и свободно отделяют готовую сетку. Таким способом могут быть изготовлены сетки с шагом до 50 мкм и толщиной от 7—8 до нескольких десятков миллиметров. К сеткам предъявляют высокие требования по прочности и оптической прозрачности

Для получения никелевых сеток размером 135×135 мм и шагом гравировки 50, 80 и 130 мкм с толщиной около 10 мкм используют сульфатный электролит с добавками (0,5—1,0 г/л) сахара, 1,4-бутилдипола, паратолуолсульфамида, снижающими внутренние напряжения. При катодной плотности тока 0,8 А/дм² из электролита с указанными добавками получают высокопрочные сетки, которые после отжига в водороде при температуре 480 °С в течение 20 мин имеют предел прочности на разрыв 0,73—0,78 ГПа. Абсолютное значение оптической прозрачности изготавливаемых сеток составляет 50—53 % [7]

При другой технологической схеме производства сеток (сит) матрица изготавливается с применением фотохимического способа. Первоначально выполняют чертеж сетки, на котором крупные отверстия сеток вычерчиваются в натуральную величину, а мелкие в сильно увеличенном масштабе. Полученный чертеж фотографируют и получают негатив в натуральную величину или сильно уменьшенного размера (в зависимости от величины отверстий и площади изготавливаемого сетчатого полотна). В дальнейшем, используя полученный негатив, рисунок сетки переносит на подготовленную матрицу методом фотоконтактной печати. В качестве матрицы используют металлические пластины из меди или стали. Матрицу предварительно покрывают фотомульсионным слоем. После экспонирования рисунка сетки химическим путем удаляют эмульсионный слой с тех мест, где в будущем должны быть отверстия. Далее матрицу помещают в травильный раствор

12 г мар. в раствор хлорного железа с концентратом (129 ± 13) · 10³ кг/м³ при температуре 40 °С) в котором незащищенные места матрицы вытравливаются в виде лунок. Глубина и форма полученных лунок зависят от времени травления. После разложения эмульсионный слой удаляют полностью, а полученные в результате травления лунки заполняют диэлектрической

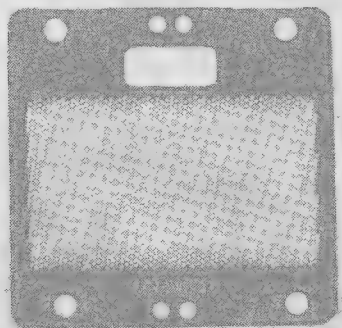


Рис. 32. Сетка-нож для электробритвы изготовленная гальваническим методом из никеля

массой. Поверхность пластины тщательно полируют. На этом заканчивается изготовление матрицы, которую затем закаливают в глицериновую ванну в качестве катода. В результате осаждения металла образуется сетка, в которой перемычки между отверстиями по конфигурации, размерам и площади будут одинаковы с площадью и конфигурацией поверхности матрицы. После отделения от матрицы электроосажденного слоя получают готовую сетку. Сетка имеет одну поверхность (со стороны матрицы) с очень малой шероховатостью, а противоположную поверхность — матовую.

При использовании тонких сеток в фильтровальных элементах загрязнения, оставшиеся на полированной поверхности, полностью и легко с нее удаляются обратным током жидкости.

Данным методом могут быть получены сетки с отверстиями различной конфигурации (даже кольцевого сечения) и размерами от нескольких миллиметров до 5 мм.

Примером изготовления сеток по описанной технологии может служить получение непроволочных ножей электрических бритв. Немецкая фирма 32 показала сетку ножа изготовления гальваническим методом. На такой сетке около 2300 отверстий, форма и размеры которых обеспечивают высокую чистоту бритья. Отверстия сетки (рис. 33) имеют с лицевой стороны закругленные кромки,

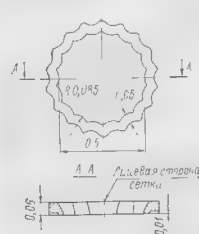


Рис. 33. Размеры и форма отверстий сетки-ножа электробритвы «Москвы»

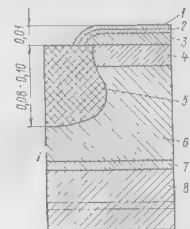


Рис. 34. Схема матрицы для производства сетки-ножа:
1 — хром 0,5 мкм; 2 — никель 4—5 мкм; 3 — медь 4 мкм; 4 — никель (слой 2) 20 мкм; 5 — диэлектрик; 6 — медь 250 мкм; 7 — никель (слой 1) 1—2 мкм; 8 — коррозионно-стойкая сталь 1,5 мкм

что обеспечивает плавное перемещение сетки по коже лица и появление волос в отверстие сетки. С внутренней стороны края отверстий острые, что позволяет срезать волосы без выпиливания и раздражения кожи.

В качестве матрицы при изготовлении сеток-ножей используют листы коррозионно-стойкой холоднокатаной полированной стали марки 10X14AT [15] размером 1,5 × 550 × 660 мм. На рабочую поверхность пластины наносят последовательно первый слой никеля 7 толщиной 1 мкм, слой меди 6 толщиной 250 мкм, второй слой никеля 4 толщиной 25 мкм. Схема расположения слоев на матрице, имеющей толщину 1,5 мм, показана на рис. 34. Первый слой никеля 7, осажденный на поверхности матрицы, играет роль подслоя, обеспечивающего хорошую адгезию

последующего слоя меди. Медный 6 и второй слой никеля 4 обеспещивают получение четкого контура отверстий при последующих операциях. На матрицу наносят фоторезист и экспонируют рисунок. Затем ее погружают в травильный раствор (хлорное железо) на две минуты. Полученные лунки глубиной 0,08–0,10 мм заполняют диэлектриком. После шлифовки поверхности матрицы и обезжиривания производят осаждение на перемычки слоя меди толщиной 5 мкм, никеля — 4,5 мкм и хрома — 0,5 мкм. Суммарная толщина этого покрытия составляет 10 мкм и обеспечивает

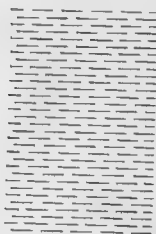


Рис. 35. Форма отверстий сита, полученного гальванопластическим методом (увеличение в 8 раз)

образование режущих кромок сеток. Готовые сетки отделяют от матрицы. Одновременно получается 120 сеток. Матрицы не используются многократно, до получения с каждой до 80–100 съемов. У каждой сетки проверяют толщину, внешний вид, отсутствие равных перемычек и наростов в отверстиях. Выборочно проверяют твердость, которая должна быть около 4,9 ГПа, и предел прочности на разрыв, величина которого изменяется от 0,69 до 0,99 ГПа [7].

Для изготовления никелевых сит, используемых в качестве фильтрующих элементов, применяют матрицы из стали марки 12Х18Н9Т толщиной 1,5–2,0 мм, на которые фотохимическим способом экспонируется чертеж сетки. Отверстия сита имеют видной формы (рис. 35) имеют следующие размеры (мм): длина — 2,2, ширина — 0,06–0,08, а отверстия круглой формы имеют диаметр 0,06–0,08. Расстояние между центрами отверстий составляет 0,65–0,7 мм.

Процесс изготовления матрицы состоит из следующих операций: очистка пластины из коррозионно-стойкой стали, нанесение светочувствительного слоя, установка пластины в негатива в копирующую раму и экспонирование чертежа сита, проявление и фиксирование чертежа, химическое дублирование и термическая обработка.

В качестве светочувствительного покрытия используется поливиниловая эмульсия, пленка которой после дублирования становится синей, так как в состав раствора для дублирования входит краситель. Термообработка матрицы при 290–320 °С в течение 20 мин увеличивает кислотостойкость поливинилового покрытия, цвет которого из синего переходит в золотисто-коричневый. Подготовленную матрицу навешивают в ванну с сульфатным электролитом

никелирования, где осаждают на перемычки слой никеля толщиной 200 мкм. Для повышения износостойкости сит на никель осаждают слой хрома толщиной 0,5–1,0 мкм. После осаждения хрома осторожно зачищают торцы матрицы (удаляют «замки») и снимают готовое никелевое сито, полученное гальванопластическим способом.

Для изготовления тонких лент и фольги используют матрицы из коррозионно-стойкой стали. Большое значение приобретает получение медной фольги для изготовления фольгируемых диэлектриков в электронной и радиопромышленности. Для этих целей требуется беспористая фольга толщиной 10–30 мкм с пределом прочности 0,2–0,25 ГПа, относительным удлинением не менее 5 % и удельным электросопротивлением $(1,8 \div 1,9) \cdot 10^{-8}$ Ом·м. Для изготовления печатных плат требуется фольга толщиной 5–7 мкм из алюминиевого протектора. К медной фольге, используемой в производстве печатных схем, предъявляются следующие требования: высокая адгезия с диэлектриками, коррозионная стойкость в течение 75 дней и более; беспористость; механическая прочность не менее 0,2–0,25 ГПа, удлинение 5 % и удельное электросопротивление $(1,8 \div 1,9) \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

Для получения тонкой фольги используется сульфатный электролит, содержащий (г/л): сульфат меди (кристаллогидрат) — 200, серную кислоту — 50; хлористый натрий — 0,05; динатриевую соль дигидрофосфорной кислоты 0,2; препарат ОС-20 0,5. Режим электролиза: катодная плотность тока 2 А/дм², температура электролиза 18–25 °С, без перемешивания, аноды медные марки АМФ. Фольгу получают путем электроосаждения меди на замкнутую непрерывно вращающуюся ленту из электропроводящего металла, нижняя часть которой непрерывно контактирует с электролитом. Аноды расположены на дне ванны поперек движения ленты.

Для изготовления теплозащитных экранов и отражательных устройств используется никелевая фольга толщиной 4–7 мкм. Применение такой фольги обеспечивает повышение отражательной способности и уменьшение массы конструкции при снижении трудоемкости изготовления экранов в 4 раза. Для получения никелевой фольги используют сульфатные электролиты.

19. Точные полые детали

В настоящее время гальванопластический метод стал одним из основных в производстве волноводов как за рубежом, так и в отечественной промышленности. Волноводы используются в

различных радиотехнических устройствах для передачи электромагнитных колебаний, стенки волновода играют роль экрана заставляющего электромагнитные волны перемещаться только вдоль волновода

Основными параметрами волноводов являются высокая точность размеров и малая шероховатость обработки внутренних поверхностей. Например, допуски на размеры внутренних каналов волноводов миллиметрового диапазона составляют от 0,005 до 0,01 мм. Выполнение этих условий при изготовлении волноводных трубок обычными методами формообразования (точное литье, механическая обработка) связано с большими затратами труда, а зачастую и невыполнимо, особенно если каналы имеют изогнутую или скрученную форму, а также переход от одного вида сечения к другому (например, от прямоугольного к круглому)

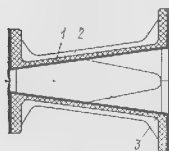


Рис. 36. Поперечный разрез двухслойного волноводного узла:

1 — электроосажденный слой металла, 2 — стеклопластик, 3 — место спайки со стеклопластическим слоем

Для уменьшения электрических потерь внутренняя поверхность волновода должна быть гладкой, бесшероховатой с мелкозернистой структурой, областью хорошей электропроводности. Наиболее пригодными для этого являются металлы, обладающие низким электрическим сопротивлением (медь, серебро, золото).

Применение гальванопластики для изготовления волноводов дает ощутимую экономию перечисленных металлов, поскольку позволяет ограничиться осаждением лишь тонких слоев

Технологический процесс изготовления волноводных элементов состоит из следующих основных операций: подготовка поверхности формы (обезжиривание, нанесение разделительного или «защитного» слоя), электроосаждение тонкого слоя золота или серебра, осаждение основного слоя меди (или никеля) толщиной 1,5–2,0 мм, извлечение формы из полученной копии (дегалин).

Для получения прочных, по облегченным конструкциям используется процесс обволакивания электроосажденных металлических слоев пластмассой. Для этого форму с электроосажденным слоем устанавливают в специальные литые пресс-формы и опрессовывают пластмассой. После опрессовки форма извлекается из готовой детали [5]. На рис. 36 показан поперечный разрез волноводного узла, состоящего из двух слоев: 1 — электроосажденного (металлического) и 2 — пластмассового, сформированного путем опрессовки.

Разработка процессов получения комбинированных слоенных конструкций, состоящих из электроосажденного слоя и укрепляющего каркаса, значительно расширила области применения гальванопластики. Комбинированные процессы позволяют получать не только волноводные узлы, но и другие изделия (например, сферические зеркала, баллоны для хранения сжиженных газов), изготовление которых будет рассмотрено ниже. При такой технологии появляется возможность изготавливать сборные конструкции отдельные составные части которых могут обладать разнообразными свойствами за счет использования различных металлов и обволакивающих пластмасс



Рис. 37. Внешний вид двухслойного волновода

В производстве волноводных узлов чаще используются простые формы, так как геометрия каналов в основном допускает извлечение форм без их разрушения. Для получения каналов, имеющих фланцевые соединения, используются составные формы. В этом случае фланцы, изготовленные механическим путем, плотно подгоняются к форме, а затем производят осаждение металла на сборную конструкцию. На рис. 37 показан волновод, состоящий из двух слоев: металла и пластмассы АГ-4, изготовленный заводом с фланцами.

В тех случаях, когда конфигурация волноводного узла не позволяет извлечь форму без ее разрушения, последнюю изготавливают из алюминия и его сплавов, а в некоторых случаях — из никелевого сплава. Формы из этих материалов удаляют путем растворения.

Для изготовления постоянных форм в волноводной технике широко используются коррозионно-стойкая сталь, позволяющая без специальной подготовки легко отделить наращенный слой. Однако эта сталь относительно мягкая и по механической прочности уступает хромистым и инструментальным сталям, поэтому она не всегда пригодна для изготовления форм, особенно малого сечения. В производстве волноводных узлов чаще используются стали марок 40X13, 30X13 и 20X13, которые можно закалить, повысив тем самым их твердость и устойчивость к механическим повреждениям. Кроме того, поверхность закаленных сталей можно лучше обработать и получить параметр шероховатости поверхности $R_a = 0,16$. При массовом производстве волноводных узлов большое значение приобретает стоимость материала форм. Стоимость же конструктивных сталей ниже стоимости коррозионно-стойких сталей.

В тех случаях, когда необходимо изготовить волноводный канал большой длины, но малого сечения, формы изготавливают из титановых сплавов, прочность которых превосходит прочность сталей. Например, из титанового сплава могут быть изготовлены формы сечением $3 \times 1,8$ и длиной до 250 мм, в то время как из стали 12X18H9T форма такой же длины должна иметь сечение вдвое большее.

Большого внимания требует подготовка форм перед осаждением металлов. Необходимость сохранения точных размеров форм при малой шероховатости их термально-полированной поверхности исключает использование электрохимического и химического обезжиривания в растворах обычного состава, поскольку в них невозможно избежать растравливания и потускнения поверхности. Для очистки поверхности формы сначала протирают салфеткой, смоченной в органическом растворителе, а затем с помощью мягкой щетки или тампона обезжиривают поверхность порошковым извести, смоченным водой и имеющим консистенцию «кашицы». Обезжиренную и тщательно промытую форму без пассивации в кислотном растворе (если она изготовлена из титана или коррозионно-стойкой стали) зачищают в гальваническую ванну для осаждения требуемого металла. Активация форм не производится, поскольку обработка их в растворах кислот ухудшает состояние поверхности и уменьшает твердость.

Формы из хромистых и инструментальных сталей нестойки в кислотных растворах для осаждения основного металла (меди или никеля), поэтому для них используется прием «защитной рубашки». Сущность данного приема заключается в следующем. На обезжиренную поверхность формы путем обработки в растворе

бихромата калия наносят пассивную разделительную пленку. Для получения защитной рубашки на всю поверхность формы осаждают первичный слой металла из щелочного электролита, не оказывающего коррозионного воздействия на материал формы. Чаще всего для этого используют пирофосфатный или этилдиаминный электролит меди, позволяющий получать при толщине осадка 20—30 мкм беспористые пленки. В дальнейшем форму с полученной защитной рубашкой зачищают в электролит для осаждения основного металла волновода.

В тех случаях, когда электропроводность внутренней поверхности волновода имеет определяющее значение для всей конструкции, в качестве первичного покрытия осаждают слой серебра из цианидных, аммиачных или роданисто-инородистых электролитов.

Для наращивания основных металлических слоев в волноводной технике чаще используются пирофосфатные и сульфатные электролиты меди, а также сульфатные и сульфатные электролиты никелирования. При изготовлении каналов сложной конструкции рекомендуется [5] осаждение никеля из цитратного электролита. Этот электролит имеет лучшую рассеивающую способность, обеспечивающую более равномерное распределение осадка никеля по поверхности сложнопрофилированных форм. Однако цитратный электролит менее стабилен в работе по сравнению с сульфатным и сульфатным. Осаждение никеля в нем происходит с малой скоростью ($i_k = 2 \text{ А/дм}^2$), поэтому его целесообразно использовать для получения первичных слоев никеля. Кроме того, цитратный электролит незаменим при использовании форм из конструктивных сталей, т. е. данных электролит, имеющий pH 7—8, не вызывает их коррозии.

В производстве сложных волноводных узлов на практике применяют эластичные формы из каучука. Для этой цели используется полиорганосилоксановая композиция, состоящая из каучука марки КСЛП-305 (ТУ 38-103-226 74) и вулканизующего агента — катализатора К-1 (ТУ 6-02-814 73).

Для изготовления эластичных форм используют арматуру из легкоплавкого сплава, которую получают путем свободной заливки в форму. Отливают арматуру с заниженным на 0,3—1,5 мм размерами сечения канала волновода. Для этого готовят арматуру, закладывают в пресс-форму и заливают эластичным компаундом. Поскольку толщина слоя компаунда равна 0,3—1,5 мм, а коэффициент усадки каучука всего лишь 0,1 %, то неточность размеров вследствие усадки каучука составляет не более 2 мкм. Отверждение компаунда происходит при комнатной

температуре. Для металлизации таких эластичных форм негодуют графитирование или химическое осаждение металлов (серебра, меди).

При изготовлении многослойных волноводных узлов большое внимание уделяется надежности сцепления между различными гальваническими слоями, а также сцеплению металлических слоев с пластмассовыми. Хорошее сцепление между металлическими слоями достигается при быстрой и качественной промывке форм и немедленной загрузке их в ванну следующего покрытия. Улучшает адгезию и заплата форм под током, а также правильный выбор схемы нанесения гальванических осадков, которые описываются в специальной литературе [7, 15].

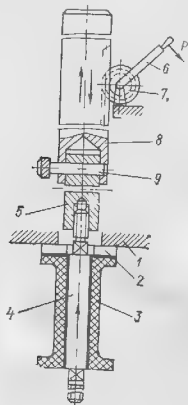


Рис. 38. Схема приспособления для извлечения форм из волноводных узлов, полученных с использованием гальванопластики

того слоя олова толщиной около 0,1 мкм. Это улучшает сцепление напыленного слоя с поверхностью ранее осажденных слоев. Затем производится опрессовка или заливка пластмассового слоя.

Для извлечения форм из готового волноводного узла используют специальные устройства, схема одного из которых приведена на рис. 38. Извлечение формы производится следующим образом: на торце волноводного узла 3, полученного электроосаждением, устанавливается упорная плита 2, предохраняющая деталь от деформации. На резьбовую часть формы 4 навинчивается спе-

циальная гайка 5. В таком виде форма с деталью и гайкой 5 вставляется через отверстие в упорной плите 1, диаметр которого несколько больше, чем сечение формы, в гнездо приспособления 8 и закрепляется штифтом 9. Поворотом зубчатого колеса 7 при помощи рычага 6 приспособление 8 перемещается вдоль оси формы. При этом волноводный узел, упираясь в плиту 1 через пластину 2, остается на месте, а форма постепенно вытаскивается. Описанное устройство позволяет вытаскивать форму без повреждения и деформации готового волновода. Форма может быть использована повторно. С одной формы в ряде случаев удается снимать до 500—600 волноводных узлов.

В различных приборах и устройствах часто применяются сопла, дроссели, фильеры и насадки, имеющие критические сечения малого диаметра, измеряемые иногда долями миллиметра. Основными требованиями при изготовлении таких деталей являются: точность входного и выходного отверстий и малая шероховатость внутренних поверхностей. Требуется малой шероховатости обусловлено тем, что малейшие неровности поверхности создают дополнительные сопротивления для потока проходящих жидкостей и газов. Это приводит к возникновению различных помех при работе прибора. Несовершенство отверстий является причиной отклонения проходящей струи, что также снижает точность и чувствительность приборов и устройств.

Изготовление сопел переменного сечения с малыми внутренними диаметрами путем механической обработки является исключительно трудоемким процессом. В тех случаях, когда диаметр критического сечения сопла менее одного миллиметра, не всегда удается получить деталь требуемого качества. Так, сопла, предназначенные для гидрорезания материалов, а также используемые в гидроструйных усилителях, должны формировать высокоскоростную струю диаметром 0,10—0,18 мм. Допустимая ошибка профиля таких сопел должна превышать 4—5 мкм, а высота микронеровностей поверхности внутреннего канала не должна быть более $2R_a = 0,04$ мкм. В этом случае только гальванопластические процессы позволяют изготовить сопла, отвечающие предъявляемым требованиям, поскольку в данном случае механической обработке подвергаются наружные поверхности формы. В зависимости от конструкции сопла используют постоянные или разрушаемые формы. Если критическое сечение располагается на кончике сопла, то используют постоянные формы. В тех случаях, когда критическое сечение находится в средней части сопла, используют, в основном, разрушаемые формы. Однако если диаметр критического сечения сопла равен нескольким миллиметрам,

то в ряде случаев удается использовать постоянные формы, имеющие разъем по наименьшему диаметру

Постоянные формы изготавливают из коррозионно-стойких хромистых сталей. Лучшие результаты достигаются при использовании форм из стали 40Х13. Формы из этой стали наиболее долговечны и после механической обработки имеют малую шероховатость поверхности

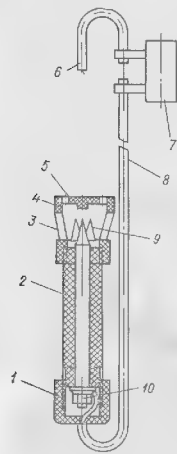


Рис. 39. Подвеска с формой для электролитического формования сопла:

1 — экранирующий корпус; 2 — изолирующий корпус; 3 — фланец; 4 — экранирующая насадка; 5 — отверстие в экранирующей насадке для выхода пузырьков водорода; 6 — привал для арматуры; 7 — активное сопротивление; 8 — подвеска с изоляцией; 9 — пазы в экранирующей насадке; 10 — гайка для крепления подвески

покрываемую поверхность сопла, в конструкцию подвески включено дополнительное сопротивление 7, позволяющее с большей точностью регулировать силу тока

Разрушаемые формы изготавливают из алюминиевых сплавов. После осаждения металла, из которого должно быть сформировано сопло, производят растворение форм в соляной кислоте. Следует учитывать, что при таком способе изготовления стенка шероховатости внутренних поверхностей получается выше, чем на соплах, снятых со стальных форм. В связи с этим иногда разрушаемые формы изготавливают из стали. Извлекаются такие формы путем растяжения и разрыва их по критическому сечению

На рис. 39 показана конструкция формы и подвесочного приспособления для изготовления сопла с критическим сечением, равным 0,1 мм [7]. Особенности геометрии формы требуют применения специальных экранирующих насадок и изолирующих элементов, которые обычно изготавливаются из органического стекла или фторопласта. Экранирующая насадка 1 (рис. 39) используется для уменьшения концентрации силовых линий при электроосаждении металла на острие формы, предназначенной для формирования критического сечения. Учитывая очень малую

На рис. 40 показана конструкция формы для изготовления сопла электролитическим формованием в виде усеченного конуса. Все экранирующие элементы 3, 5, 6 также изготовлены из органического стекла. Токоподводящий элемент 1 изготовлен из латуни

К соплам подобного типа предъявляются высокие требования по износостойкости, твердости и коррозионной стойкости. В силу того что их изготовления обычно не пользуется никель-кобальтовый сплав, осаждаемый из сульфатного электролита. На рис. 41 показано сопло из сплава никель — кобальт с внутренним диаметром критического сечения 0,18 мм и с толщиной стенки 2,0 мм, полученное с использованием постоянной формы. Подобные сопла с толщиной стенки всего лишь 0,8–0,9 мм выдерживают рабочее давление жидкости до 28 МПа и обеспечивают высокую точность передающих сигналов

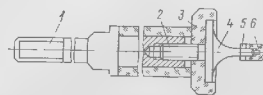


Рис. 40. Постоянная форма из стали 40Х13 для изготовления сопла электролитическим формованием:

1 — токоподводящий; 2 — технологический участок контактирования; 3, 5, 6 — экранирующие элементы; 4 — форма

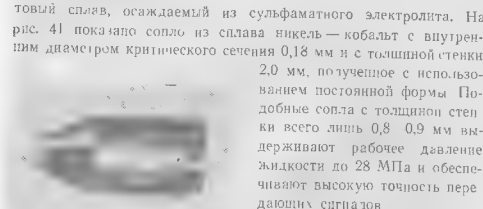


Рис. 41. Сопло из сплава никель — кобальт, изготовленное электролитическим формованием с критическим сечением 0,18 мм, толщина стенки 2 мм (увеличение в 3,5 раза)

15 %-ном растворе соляной кислоты. На рис. 43 показано готовое тонкостенное сопло из никеля, полученное также на форме из сплава Д16. После осаждения металла форму погружают в раствор соляной кислоты, в котором происходит растворение алюминия

На рис. 44 приведена конструкция формы для изготовления сопла типа трубки Вентури. Размеры критического сечения сопла (диаметр 19 мм) в данном случае позволяют использовать постоянную форму из стали, состоящую из двух частей: головки 1 с цилиндрической поверхностью и конуса 6. Разъем формы осуществлен по критическому сечению сопла. Необходимым услови-

для использования составных форм является отсутствие зазора в месте сочленения составных частей. Наличие даже незначительного зазора (более 0,01 мм) препятствует осаждению сплошным

Рис. 43. Форма из сплаве Д16 с осадком сплава никель—кобальт толщиной 4,3 мм:
1—катододержатель; 2—регулирующая гайка (оргстекло); 3—осадок сплава никель—кобальт

слоя металла в данном месте. Сочленение частей формы без зазора достигается притиркой сопрягаемых торцов, сплошной насадкой цилиндрической части 4 на резьбовую технологическую поверхность конуса 6, а также их фиксацией штифтом 5 с последующей затяжкой гайки 2. Колпачки 3, 7 и гайка 8, изготовленные из органического стекла, ограничивают осевые размеры сопла и предохраняют торцевые поверхности формы от осаждения металла. С помощью гайки 1 и латунного стержня форма соединяется с валом редуктора электродытателя, обеспечивая ее вращение в гальванической ванне. Через этот же латунный стержень к форме подводится электрический ток. Сопла подобного типа с толщиной стенки 1 мм более миллиметров изготавливают из никеля и меди. Готовое сопло (трубка Вентури) из никеля с толщиной стенки 1 мм показано на рис. 46.

Рис. 44. Тонкостенное сопло из никеля, полученное электролитическим формированием с использованием растворимой формы из сплава Д16

Для аэродинамических испытаний в специальных установках используются различные сопла, имеющие рубашки или специальные каналы для охлаждения водой. Сопла подобного типа получают следующим образом: на металлическую форму осаждают первый слой металла, например меди. Далее наносят слой изоляционного материала, например воска, или слой легкоплавкого металлического сплава, толщина которого равна внутренней высоте охлаждающей рубашки. На этот слой производят последующее электроосаждение меди. Затем технологический слой из легкоплавкого сплава (или воска) выплавляют через технологические отверстия. В результате получится готовое сопло с рубашкой.

На рис. 46 приведена схема конструкции специального устройства, позволяющего также получить сопло с каналами для охлаждения, расположенными на его наружной поверхности. Данное устройство, изготовленное из органического стекла, состоит из распределительных колец 3 и 9, в которых укрепляются защитные элементы 13, имеющие форму ребер. Распределительные кольца и ребра устанавливают на поверхности формы 6, на которую предварительно осаждают слой меди 4 требуемой толщины. С помощью колец 5 и 7 ребра прижимаются к поверхности формы с осадком. С торцов формы устанавливаются защитные колпачки 2, 9, 10. После установки защитных элементов форму вводят

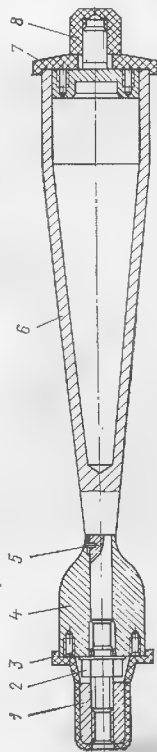


Рис. 44. Конструкция постоянной составной формы для электролитического формирования сопел типа трубки Вентури:
1—защитная гайка; 2—фиксирующая гайка; 3, 7—защитные колпачки; 4, 6—осадочные части формы; 5—штифт; 8—собирающая гайка

помещают в гальваническую ванну. Форма заводится в ванну с помощью рукояток 1 или 11. Осаждение металла происходит



Рис. 45. Сопло (трубка Вентури) изготовленное электролитическим формованием

на незащищенные участки поверхности, что позволяет получить ребра жесткости 12. После осаждения металла трубку вы-

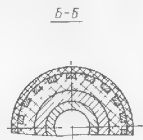
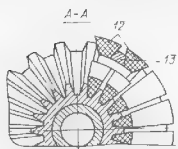
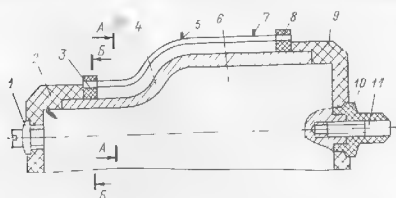


Рис. 46. Схема конструкции устройства из органического стекла для электролитического формования охлаждающих каналов на наружной поверхности сопла

толщины удаляют экранирующие элементы в результате чего образуются каналы необходимого сечения. Готовые сопла одевают

от формы с помощью устройства, которое вместе с заготовкой формы устанавливают на разрывной машине. У объекта показанной на рис. 47, состоит из рукояток 1 и 9, диска 5, распорных стержней 7 и гвек 4. Рукоятка 1 укрепляется на форме 8 с помощью болтов 2. На торце осадка 6 устанавливают точно изготовленное литниковое кольцо 3. С помощью рукояток 1, 9 съемник закрепляется в лапках разрывной машины. При выключении воды машины деталь (осадок) 6 остается на месте, а форма, помещаясь в осевом направлении, освобождается.

Применение гальванопластических процессов взамен механической обработки для изготовления сопел подобного типа позволяет повысить коэффициент использования металла с 0,2 до 0,8, 0,9 и в 5—6 раз снизить трудоемкость их изготовления.

Следующим типом деталей, получаемых с помощью гальванопластики, являются сильфоны, представляющие собой тонкостенные гофрированные трубки различного диаметра. В этом случае также достигают снижения трудоемкости изготовления сильфонов и значительного улучшения их эксплуатационных свойств. Для изготовления форм применяют алюминиевые сплавы, так как конструкция сильфона не позволяет использовать пластиковые формы. Целесообразнее для получения формы использовать трубу требуемого диаметра. Готовая форма из алюминиевой трубы показана на рис. 48. Форму очищают от загрязнений и с помощью специального контактного устройства (рис. 49) после цинкования обрабатывают и тщательно промывают, заворачивают в гальваническую ванну. Контактное устройство, состоящее из четырех пружинных лепестков, обеспечивает плотный контакт формы с анодом. После осаждения металла форму вытравливают в растворе, удаляя лишнюю и получают готовую деталь.

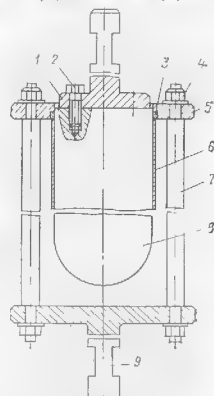


Рис. 47. Схема устройства для снятия деталей, изготовленных электролитическим формованием, с использованием разрывной машины

1, 9 — рукоятки; 2 — болты; 3 — литниковое кольцо; 4 — гвек; 5 — диск; 6 — осадок; 7 — распорные стержни; 8 — форма

Материалом сильфонов обычно служит никель, осаждаемый из сульфатного электролита. При осаждении никеля на форму, показанную на рис. 49 наблюдается значительный перепад толщин осадка во впадинах и на выступах. В связи с этим целесообразнее вести процесс осаждения при низких плотностях тока ($i = 1,0 - 1,5$ А/дм²). При этом достигается более равномерное распределение осадка никеля по форме.

Сильфоны с внутренним диаметром около 30 мм и толщиной стенок 40 - 50 мкм выдерживают переменную осевую нагрузку в 2,5 кг до 50 циклов. Сильфоны большего диаметра с толщиной стенок около 1 мм (рис. 50) выдерживают до 10 000 циклов переменного сжатия.

Рис. 48. Форма из алюминиевой трубы для электролитического формирования сильфонов



Рис. 49. Контактное приспособление для электролитического формирования сильфонов:
1 — токоподвод; 2, 4 — экранирующие элементы; 3 — токоподводящие лепестки

В ряде случаев использование гальванопластики позволяет получить пустотелые детали, состоящие из разнородных материа-

лов. Примером может служить корпус расходомерной установки для градуировки ротаметров, показанный на рис. 51. Корпус состоит из двух деталей, пустотелой оболочки толщиной 1,2 мм и оловитной фигурной вставки. Для изготовления корпуса используется алюминиевая форма, в которую адресовывают литейную смесь, полученную механической обработкой. Перед осаждением места на поверхности формы протирают органическим растворителем обезжиривают, венский известью. Затем ее активируют в 10%-ном растворе олеиновой кислоты и закладывают в ванну для осаждения металла. После осаждения металла форму с осадком тщательно промывают и вырезают на ней радиальный паз шириной 10 мм. После вытравливания алюминиевой формы получают готовую пустотелую деталь.

Рис. 50. Сильфон, изготовленный электролитическим формированием из никеля (толщина стенок 2 мм)

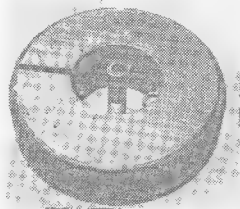


Рис. 51. Пустотелый корпус расходомерной установки, изготовленный электролитическим формированием из никеля (толщина стенок 1,2 мм)

В настоящее время разрабатываются специализированные установки с вращающимся катодом. Примером может служить установка для получения сильфонов типа УЭФ. Установка состоит из следующих основных элементов: ванны для осаждения металла, ванн для очистки и подготовки растворов электролитов

Для осаждения металла при изготовлении волноводов, сопел, сильфонов и других подобных деталей используются гальванические ванны, снабженные устройствами для вращения катода. В этом случае достигается равномерная толщина деталей в поперечном сечении.

В настоящее время разрабатываются специализированные установки с вращающимся катодом.

катодного узла и пульт управления. Вана очистки по объему в 2 раза больше ванны осаждения. Раствор, очищенный от органических загрязнений и прошедший фильтрацию, в ванну подготовки поступает по трубам в ванну осаждения, а очищенный при этом через фильтр. Катодный узел состоит из контактного вала и десяти патронов для закрепления токоподводов с формами. Конструкция катодной головки позволяет извлекать отдельно эти патроны из ванны осаждения. Кроме того, катодная головка снабжена приводом для вращения патронов вокруг своей оси и общего движения по кругу. Все контрольные приборы и регулирующие устройства параметров процесса осаждения расположены на передней панели пульта управления. В установке предусмотрено автоматическое регулирование температуры раствора электролита.

20. Формообразующие детали пресс-форм

Одно из основных преимуществ гальванопластики получение сложнотрассированных полостей с высокой точностью и малой шероховатостью поверхности. Определение ее применено в производстве технологической оснастки. В настоящее время с применением гальванопластики изготавливаются формообразующие детали пресс-форм, используемых для переработки термопластов, реактопластов и вакуумного прессования [1, 6, 13, 17, 20, 21, 23].

Качество формообразующих деталей, или как их чаще называют, вставок (вкладышей), полученных гальванопластическим путем, значительно выше, чем при механическом способе изготовления матриц. Отклонение размеров получаемых формообразующих деталей от размеров конгруэнтных форм или мастер-форм составляет всего лишь от 2 до 10 мкм. Шероховатость поверхности формообразующих деталей полностью определяется обработкой поверхности формы. Поскольку формы являются выпуклыми, т. е. более удобными и менее трудоемкими для слесарно-механической обработки, качество поверхности формообразующих деталей получается более высоким, чем при традиционном способе изготовления матриц пресс-форм. Имеются и другие преимущества использования гальванопластики в производстве пресс-форм.

с одной формы можно снять несколько совершенно идентичных формообразующих деталей; при использовании форм из сталей удастся снять с одной формы до нескольких сотен копий, что особенно эффективно при изготовлении многосетчатых пресс-форм для массового производства пластмассовых деталей;

использование для получения формообразующих деталей сплава никель — кобальт, обладающего высокой твердостью (43 —

5 HRC) исключает необходимость термической обработки и хромирования матрицы.

Технологическая схема изготовления вставок пресс-форм во многом определяется материалом формы. Если используются металлические формы, технологическая схема проще и цикл изготовления вставок короче. Однако стоимость полученных матриц растет за счет большого объема механической обработки и шлифования. Схема изготовления вставок в данном случае включает в себя следующие основные операции: подготовка поверхности, получение рабочего слоя (осаждение сплава никель — кобальт или никеля), создание конструкционного слоя и крепление вставки в матрице. Если же используются материалы из неметаллических материалов в схему процесса включается шлифовка металлизированной поверхности формы, причем в массовом производстве целесообразно начинать изготовление промежуточной мастер-пресс-формы, в которой может быть отлито необходимое количество форм, в дальнейшем используемых для изготовления пресс-форм. Мастер-пресс-форму получают также с помощью гальванопластики, используя в качестве формы основную деталь или форму, изготовленную специально.

Рабочая поверхность вставки матрицы соприкасается непосредственно с перерабатываемым в ней материалом, поэтому она должна иметь высокую твердость и обладать коррозионной стойкостью. Этим требованиям полностью отвечает сплав никель — кобальт, который и используется для получения рабочего слоя вставок. В отдельных случаях допустимо применение никеля, если не требуется высокая пластичность формообразующих поверхностей матрицы. Толщина рабочего слоя вставок в зависимости от конструкции вставки составляет от 1,5 до 5 мм.

Назначение конструкционного слоя — придание вставке жесткости и получение базовых поверхностей, необходимых для крепления ее в матрице. На рис. 52 показана схема конструкции осесимметричной вставки, состоящей из рабочего 1 и конструкционного 2 слоев.

Конструкционный слой по своему назначению должен обладать прочностью, теплопроводностью и хорошей адгезией к рабочему слою и электроосажденному рабочему слою, не вызывая его коробления. Он должен быть устойчивым к рабочим температурам и воздействию агрессивных пластмасс.

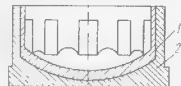


Рис. 52. Схема конструкции осесимметричной вставки: 1 — рабочий слой; 2 — конструкционный слой

Существует несколько способов получения конструктивных слоев: электроосаждение меди или никеля; залпака легкоплавкими металлургическими сплавами и эпоксидными композициями; пайка запрессовка в металлургические обломы; газотермическое напыление металла (например, стали). Более подробно способы получения конструктивных слоев будут рассмотрены ниже.

Одним из основных этапов процесса получения вставок пресс-форм является изготовление форм, на которые производится осаждение.

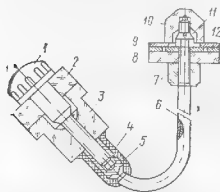


Рис. 53. Конструкция постоянной формы с токоподводом для электролитического формирования осесимметричной вставки:
1—рельефная (формообразующая) поверхность; 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8—защитные (изолирующие) элементы; 9—контактная поверхность; 10—токоподвод; 11—токоподводящая шина

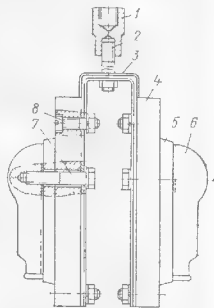


Рис. 54. Двухсторонняя форма для электролитического формирования вставки с плоскостью разреза:
1—защитная пайка; 2—токоподвод; 3—подноска; 4—изолятор; 5—металлическая плита; 6—полужома; 7, 8—крепящие болты

ние рабочего слоя. Конструкция формы определяется материалом, из которого она должна быть изготовлена, а также типом формообразующей детали. В большинстве случаев конструкция формы включает в себя следующие элементы: рельефную (формообразующую) поверхность, базовые (технологические) участки, предназначенные для расположения экранирующих элементов и токоподводов. Кроме того, должны быть участки для установки формы на станках для выполнения механической обработки. На рис. 53 показана конструкция постоянной формы, укрепленная в токоподводе и соединенная с токоподводящей шиной. К рельефной части формы 1 плотно подгоняют защитные элементы (гайка 2 и втулка 3), изготовленные из органического стекла. Эти элементы защищают технологические поверхности формы и ограничивают рост фронта электроосаждения.

Если формообразующая деталь пресс-формы имеет плоскость разреза, то соответственно в конструкции формы должна быть также плоскость разреза. В этом случае изготавливают две полуформы, которые укрепляют на подвесочном приспособлении параллельно друг другу с двух сторон. Такие двухсторонние формы предпочтительнее, так как позволяют более экономично использовать гальваническую ванну. На рис. 54 показана конструкция формы для электролитического формирования вставки, имеющей плоскость разреза. Форма состоит из двух симметричных полуформ 6, каждая из которых укреплена на металлической плите 5, выступающей на 1 мм по всему периметру из-под формы. Плита 5 выполняет роль дополнительного катода, позволяющего получить более равномерное распределение осадка по поверхности полуформ.

В тех случаях, когда формы изготавливаются из немаetalлических материалов, большое внимание уделяется конструкции токоподводящих элементов, поскольку необходимо достигнуть плотного прилегания контактной шины к токоподводящему слою без его повреждения. Для ускорения процесса затяжки участки соприкосновения контактов с токоподводящим слоем должны быть рассредоточены в нескольких местах формы. В связи с этим при разработке конструкции формы необходимо предусмотреть технологические припуски шириной от 5 до 7 мм для размещения токоподводов. Чаще всего токоподводы укрепляют по периферии плоскости разреза формы с интервалом от 20 до 30 мм. Для токоподводов используют обычно предварительно отожженную и очищенную медную проволоку диаметром 2,5—3,0 мм (для центрального токоподвода) и 0,5—1,0 мм (для периферийных). По контуру кромки формы на расстоянии 10 мм укрепляют металлический экран, который соединяют с токоподводами. Для того чтобы предотвратить всплывание форм из печатных, в их конструкцию включают металлическую или керамическую арматуру. Если форму получают методом свободного литья из пластмассы, то арматура может быть заключена в тело пресс-формы. Во всех остальных случаях арматуру укрепляют на технологических припусках формы. Иногда формы жестко закрепляют на подвесочных приспособлениях, чтобы предотвратить их всплывание (рис. 55). Формы для наращивания вставок пресс-форм, используемых в обувной промышленности, укрепляют на специальных подвесочных приспособлениях [17].

Поверхность подвесок, включая места контактов, должна быть защищена, чтобы предотвратить осаждения на ней металла. Для изоляции используют хлорвиниловые трубы, самовулкани-

рующиеся компаунды и порошковые пластмассовые материалы, наосимые напылением.

В качестве материала форм могут быть использованы также различные материалы. Выбор материала в каждом конкретном случае зависит от конструкции формообразующей детали и гиражности пресс-формы. Металлические формы изготавливают из сталей различных марок. Для форм простой конфигурации можно использовать сталь марок 38А, 38, 20. Формы сложной конфигурации, имеющие выступы и углубления, предпочтительнее изготавливать из сталей марок 40Х13 и 45.

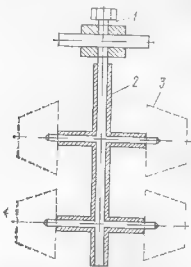


Рис. 55. Подвесное приспособление с жестко закрепленными формами:
1 — точилошест; 2 — изоляционный стой; 3 — форма

С целью повышения износостойкости и стойкости к механическим повреждениям формы из сталей подвергают термической обработке до твердости 40–44 HRC и хромируют. Изготавливают металлические формы механической и слесарной обработкой. При этом шероховатость поверхности доводят до параметра $R_a = 0,04$ мкм.

С целью снижения затрат для изготовления форм чаще всего используют неметаллические материалы, такие как полиметилкрилат (органическое стекло), полистирол, а также полиэфирные, эпоксидные и акриловые смолы. Поскольку формы из пластмасс чаще всего пригодны для однократного использования, их целесообразнее получать методом литья. Для этого с начала изготовления прочекуточно мастер пресс-форму, используя мастер-форму, выполненную с высокой точностью. Формообразующие детали для мастер-пресс-формы также изготавливают гальванопластическим путем. Формы обычно изготавливают механической обработкой. Однако в тех случаях, когда гальванические формы образующих деталей пресс-форм имеют большое поле допуска (например, в производстве игрушек, приборов бытовой техники и т. п.), в качестве формы используют готовое изделие. Мастер-пресс-форму в дальнейшем используется для тиражирования форм [1].

Наиболее удобным материалом для изготовления форм является органическое стекло, что объясняется его хорошей обрабатываемостью. Кроме того, формы из органического стекла мо-

гут быть собраны из отдельных элементов путем склеивания их диэлектрическим клеем. При этом не допускаются зазоры между подогнанными поверхностями, поскольку они приводят к получению бракованных осадивших оболочек. После подгонки и склеивания отдельных частей формы образовавшиеся подтеки тщательно соскабливают и полируют зачищенные участки.

Технологическая схема подготовки форм из органического стекла состоит из следующих операций:

обезжиривание в растворе моющего средства «Вильва» при температуре 40–50 °C в течение 1–2 мин;

гравирование в растворе хромового ангидрида в течение 0,5–1,0 мин;

сенсибилизация в течение 10–15 мин в растворе хлористого олова (хлористое олово — 30 г/л, соляная кислота — 10 г/л);

активация в течение 10–15 мин в растворе хлористого палладия (хлористый палладий — 0,25 г/л, соляная кислота — 10 мл/л);

химическое меднение в растворе следующего состава (г/л): сульфат меди — 7; хлорид никеля — 1; сегнетова соль — 29; гипосульфит натрия — 5; сода кальцинированная — 2; формалин 40% — 25 мл/л.

После осаждения металла формы из органического стекла легко удаляются при подогреве их до 120–150 °C. При изготовлении формообразующих деталей, имеющих резьбовые элементы и внутренние поднутрения, формы из органического стекла растворяют в дихлорэтане.

В обувной промышленности используют формы из древесины бука и березы. Для устранения гигроскопичности формы из дерева проваривают в воске с последующим нанесением пленки перхлорвинилового лака.

Для изготовления форм применяются также эпоксидные композиции и силиконовые каучуки. В некоторых случаях для форм с большими допусками на размеры и без особых ограничений шероховатости поверхности используют гипс. Формы из гипса предварительно пропитывают в расплавленном воске или парафине.

На формах из неметаллов перед осаждением рабочего слоя наносят токопроводящий слой, используя различные схемы. В частности, используют сульфидные пленки, поскольку при этом исключается применение солей серебра и палладия.

Для осаждения сплава никель — кобальт чаще других используют сульфидные электролиты, позволяющие получать менее напряженные слои сплава. При осаждении этого сплава, содержащего 30–40% кобальта, катодная плотность обычно состав-

ляет 3—5 А/дм². Однако в случае использования сложнопрофилированных форм с глубокими впадинами рекомендуется осаждать слыв при плотности тока не более 1 А/дм², увеличивая ее постепенно до 2—3 А/дм².

Необходимо учитывать, что формы с очень узкими щелями, в которых отношение высоты щели к ее ширине более 1,5, вообще мало пригодны для наращивания металла. На таких формах осадок получается очень неравномерной толщины, что может явиться причиной разрушения вставки в процессе эксплуатации пресс-формы. Для осаждения металла на формы с глубокими впадинами используются специальные присыпки, описанные в литературе [1].

Вопрос выбора метода утолщения рабочего слоя, т. е. создания конструкционного слоя, является одним из сложных в технологии изготовления вставок пресс-форм. Это связано с тем, что конструкционный слой должен быть прочным, з способ его нанесения — простым и дешевым. Чаще всего выбор способа получения конструкционного слоя зависит от конфигурации формообразующих деталей. В производстве пресс-форм встречаются следующие типы формообразующих деталей [1].

1. Тела вращения или близкие к ним. В этом случае размеры любого поперечного сечения формообразующей детали либо одинаковые, либо отличающиеся на величину, соизмеримую с толщиной осаждаемого металла. К этому типу относятся формообразующие детали для получения шестеренок, гаек, заглушек, втулок, ручек приборов, корпусов авторучек, карандашей и других подобных деталей.

2. Имеющие сложную пространственную конфигурацию со значительной разницей в размерах одного и того же сечения. Чаще всего формообразующие детали данного типа имеют плоскость разреза, т. е. состоят из двух частей. Пресс-формы с такими полостями используют для получения корпусов, резиновых обсымных деталей, игрушек, предметов бытового назначения.

3. Плоские или близкие к плоской конфигурации, не имеющие больших перепадов по высоте. Формообразующие детали данного типа используют для получения шпал, надписями, табличек, расчесок, плоских деталей с рельефным рисунком или фактурой, подов для обувной промышленности и т. п.

В качестве конструкционного слоя для формообразующих деталей с небольшими перепадами по сечению используются электроосадки никеля или меди толщиной 2—5 мм. В тех случаях, когда рельеф формообразующей детали имеет большие перепады по высоте, конструкционный слой получают методом металлизации.

Для этого используют электродуговые пистолеты. Материалом для напыления служит стальной малоуглеродистая проволока диаметром 1,5 мм. Перед металлизацией наращивают технологический слой меди толщиной 2—3 мм с дендритами на поверхности осадка. При металлизации необходимо следить за температурным режимом, чтобы не допустить перегрева электроосажденного рабочего слоя. Хорошо зарекомендовали себя электродуговые пистолеты марок ЭМ-3А и ЭМ-6. Металлизационный пистолет марки ЭМ-3А имеет производительность в пределах 0,8—0,9 кг/ч и не допускает перегрева электроосажденного слоя металла выше 60 °С.

После напыления полученный слой обрабатывают до требуемых размеров вставки и отделяют форму.

Конструкционный металлизационный слой может быть также получен путем заливки легкоплавких сплавов на предварительно покрытый оловом рабочей слой. При этом желательно осуществлять охлаждение рабочего слоя, так как сплавы, используемые для заливки (сплавы ЭКБ и ЦАМ), имеют температуру плавления около 300 °С. Нагрев же никель-кобальтового сплава выше температуры 200—250 °С приводит к снижению его твердости. После заливки сплава производят обработку полученной опки до размеров вставки.

В качестве конструкционного слоя может быть использована эпоксидная композиция, если изготавливаемая пресс-форма эксплуатируется в условиях ненапряженного теплового режима. Рекомендуется [13] следующий состав композиции (масс. доли): смола эпоксидная ЭДБ—100; дибутилфталат—7; диметиланилин—2; малеиновый ангидрид—35; железный порошок—300. Заливка композиции осуществляется на медный подслей до отделения формы от вставки. После заливки опка с эпоксидной композицией подвергается термической обработке при температуре 150 °С в течение 4 ч для полимеризации смолы. На рис. 56 показаны вставки с конструкционным слоем из легкоплавкого сплава (а) и из эпоксидной композиции (б).

При изготовлении вставок, рабочая поверхность которых имеет осесимметричную форму, роль конструкционного слоя может выполнять стальная втулка, полученная механической обработкой. Для этого форму с рабочим слоем, обработанным на токарном станке, запрессовывают в стальную втулку. После запрессовки форма извлекается. Готовая вставка, полученная данным способом, показана на рис. 57.

В тех случаях, когда рельеф формообразующей детали не имеет больших перепадов по высоте, производят напыление

рабочего слоя на стальное основание. Таким способом изготавливаются матрицы для прессования плоских деталей: шпал с надписями, товарных знаков и т. п. Перед напавиванием на рабочий

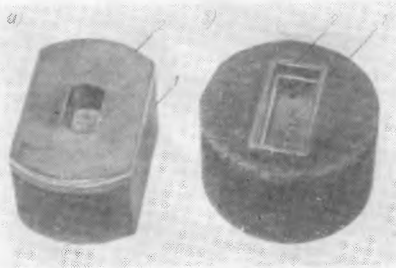


Рис. 56. Вставки пресс-форм с конструкционным слоем: а — из сплава ЭКВ; б — из эпоксидной композиции; 1 — конструкционный слой, 2 — рабочий слой

слой осаждают медь толщиной 2—3 мм, но без дендритов. Нагревают формообразующую деталь и стальное основание до 200 °С и производят лужение сопрягаемых плоскостей припойми ПОС 30 или ПОС 40. Для лучшего сцепления рабочего слоя со стальным основанием на нем фрезеруют канавки глубиной 0,3 мм с шагом 0,8 мм. При лужении припой заполняет канавки, повышая тем самым прочность соединения [13]. Если тепловой режим работы пресс-формы не очень интенсивен и не превышает 70 °С, рабочий слой приклеивают к стальному основанию эпоксидной смолы.

Рис. 57. Осесимметричная вставка, запрессованная в стальную втулку

Независимо от способа получения конструкционного слоя влечение форм из вставок осуществляется лишь после механи-

ческой обработки последней до размеров чертежа на данную формообразующую деталь. Для влечения форм используются различные приемы и приспособления. Например, для отделения форм от осесимметричных вставок может быть использован съёмник, показанный на рис. 58. Внутренний диаметр съёмника, показанного на данном рисунке, на 0,1—0,2 мм больше диаметра формы. Съёмник пасаживается на технологическую часть формы таким образом, чтобы торцевая поверхность его упиралась в торце электроосажденного слоя. На резьбовую часть формы навинчивается гайка. В таком виде форма жестко закрепляется в патроне токарного станка или специально изготовленного устройства, не допускающего осевых смещений. Затягивая гайку с помощью ключа, передают давление на электроосажденный слой. Поскольку на формах всегда предусматриваются технологические уклоны в сторону съема, то вставка легко отделяется с формы. Отделение форм от вставок, предназначенных для отливки деталей типа червяков, осуществляется путем их вывинчивания.

Рис. 58. Съёмник для осесимметричных вставок

Для осаждения металлических слоев сплавов никель — кобальт и никель — медь используют специальные установки, в которых осуществляется движение катодных штанг. Это необходимо для получения осадков хорошего качества. Конструкция одной из установок, используемой в производстве, показана на рис. 59. Установка состоит из следующих основных узлов: каркаса 6; гальванических ванн 2; панели управления 7; катодной штанги 12. Каркас установки, сваренный из уголков, предназначен для размещения в нем остальных узлов. На каркасе крепятся листы панели управления и приборной панели. В установке имеются две ванны осаждения. Они могут быть изготовлены из винипласта, органического стекла, коррозионно-стойкой стали или футеровкой из хлорвинилового пластика. Катодная штанга с приводом для вращения располагается над ваннами. Привод движения катодной штанги включает в себя двигатель, ременную передачу и червячный редуктор. Частота вращения катодной

штанги 22—27 об/мин. Аноды завешиваются на неподвижных штангах.

Анализ результатов применения электролитического формования для изготовления аставок пресс-форм на ряде предпри-

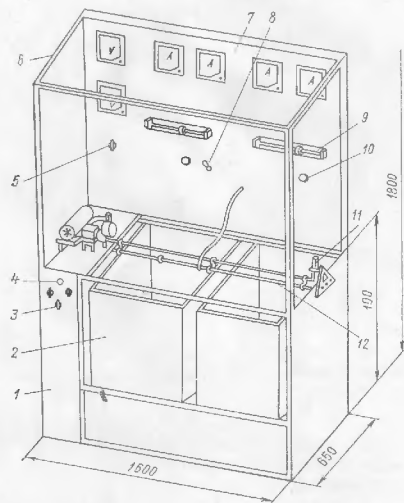


Рис. 59. Схема установки для изготовления формообразующих деталей пресс-форм:

1 — панель выключателей; 2 — ванна осаждения из никеля; 3 — выключатель; 4 — лампа сигнальная; 5 — переключатель; 6 — каркас; 7 — панель управления; 8 — тахометр; 9 — потенциометр; 10 — автотрансформатор; 11 — система подсветки; 12 — катодная штанга.

тий страны показал, что затраты снижаются за счет сокращения объема труда высококвалифицированных рабочих инструментального производства. Кроме того, увеличивается межремонтный срок службы пресс-форм за счет повышения стойкости формообразующих полостей, а также улучшается качество отливаемых или прессуемых деталей и изделий.

21. Сферические зеркала, баллоны, зубные протезы

О применении в промышленности гальванопластических процессов для получения тонкостенных изогнутых конструкций больших размеров сообщалось еще в 1960-х годах [16]. Путем осаждения никеля на тщательно обработанные стеклянные формы диаметром от 150 до 490 мм получали параболические концентраторы толщиной 200 мкм. В дальнейшем этот процесс был усовершенствован. Дорогостоящие стеклянные формы заменены на более дешевые и надежные в работе формы из эпоксидного компаунда. После осаждения на них никеля, из которого должны быть изготовлены концентраторы, к тыловой поверхности приклеивают жесткий каркас. Назначение данного каркаса — сохранение начальной формы гальванопластической копии.

С помощью комбинированных гальванопластических процессов можно изготавливать конструкции с самыми разнообразными свойствами, так как они сформированы из двухслойного материала: металл — пластмасса.

Такие конструкции могут одновременно иметь небольшую плотность и обладать свойствами, присущими металлам: электропроводностью, высокой твердостью, хорошей отражательной способностью, коррозионной стойкостью. Одновременно эти конструкции могут иметь небольшую массу и высокую прочность благодаря применению пластмассовых материалов.

Следующей областью применения комбинированной гальванопластики является изготовление элементов антенно-фидерных устройств: рупоров, вспомогательных и основных зеркал. Разработан также процесс изготовления крупногабаритных составных антенно-фидерных отражателей. Антенно-фидерные устройства используются в системах спутниковой связи, на станциях космических исследований и радиолокационных станциях, в радиотелескопах и т. д.

На рис. 60 приведена конструкция зеркала антенно-фидерного устройства, состоящая из электроосажденного никеля толщиной 0,1 мм и пенопласта толщиной 2—3 мм. Использование пенопласта позволяет получить конструкцию легкой и сохранять

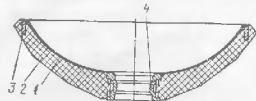


Рис. 60. Конструкция зеркала антенно-фидерного устройства:

1 — электроосажденный слой никеля; 2 — пенопласт; 3 — армирующий материал; 4 — несущая гайка.

заданную прочность. Для сохранения геометрии рабочей поверхности конструкции в пенопласт вводят специальную арматуру.

При изготовлении подобных деталей большое внимание уделяют подготовке форм и оснастке (токоподводящим элементам, экранирующим устройствам, вспомогательным электродам). Для армирования металлического слоя пенопластом используются специальные пресс-формы. При армировании необходимо предусмотреть фиксирование положения формы с наращенным слоем в пресс-форме. Боковые элементы заливочной формы используются для монтажа арматуры и отделения изделий от форм. Для изготовления формы используют такие материалы, как сталь и эпоксидные композиции. Поверхность форм тщательно обрабатывают до получения поверхности с малой шероховатостью, поскольку получаемые зеркала должны иметь хорошую отражательную способность. На поверхность форм после соответствующей химической подготовки (обезжиривания, металлизации) осаждают серебро, медь или никель в зависимости от конструкции детали. Для осаждения данных металлов используют этилендиаминовые электролиты меднения, цитратные и сульфаматные электролиты никелирования.

Рассмотрение всех примеров гальванопластики показывает преимущественно данного метода по сравнению с традиционными процессами формообразования. В первую очередь достигается возможность получения тонких деталей при небольших затратах труда. Использование гальванопластических процессов обеспечивает также более экономичный расход цветных и драгоценных металлов. Коэффициент использования металла в гальванопластических процессах возрастает по сравнению с механическими способами изготовления с 0,18—0,25 до 0,8—0,95, сокращается в 10—15 раз расход электроэнергии. Все это способствует дальнейшему развитию гальванопластических процессов и увеличению их объема в промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брайман Б. М. Опыт и перспективы использования в отрасли гальванопластики для изготовления технологической оснастки. Переловое производственное предприятие. В кн. 1. М.: ЦИТЭИ, 1985, с. 7.
2. Волюнок Г. А. Изготовление сопел электролитическим формованием. — В кн.: Улучшение качества изделий приборостроения путем введения современных химических и электрохимических покрытий. Л.: ЛДНТИ, 1977, с. 61—66.
3. Волюнок Г. А. Электролитическое формование деталей из сплавов вольфрама — кобальта. — В кн.: Повышение качества и надежности гальванических покрытий. Л.: ЛДНТИ, 1978, с. 39—43.
4. Вячеславов П. М. Новые электрохимические покрытия. Л.: Лениздат, 1972, 264 с.
5. Вячеславов П. М., Волюнок Г. А. Электролитические формование. Л.: Машиностроение, 1978, 112 с.
6. Гальванические процессы: Каталог. Черкассы: ОНИИТЭХИМ, 1983, 31 с.
7. Гальванопластика в промышленности. М.: МДНТИ, 1976, 148 с.; 1981, 118 с.; 1985, 99 с.
8. Грилихес С. Я., Добина А. М. Гальванопластический метод изготовления матриц пресс-форм. Л.: ЛДНТИ, 1978, 32 с.
9. Изготовление параболических концентраторов методом гальванопластики. Х. Набиуллин, М. С. Садиков, З. М. Бузова, Г. С. Заславская. — Гальвотехника, 1966, № 3, с. 23—33.
10. Исследования в области осаждения металлов. — В кн.: Материалы 19 Республик. Электрохимический ЛатССР. Вильнюс, 1983, 321 с.
11. Казначей Б. Я. Гальваническое изготовление изделий и инструментов. — Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева, т. 26, № 2, 1980, с. 192.
12. Казначей Б. Я., Балашова Н. Н., Родневская А. К. Электроосаждение никеля с низким внутренним напряжением из сульфамидных электролитов. — Тр. ВНИИэлектрохимии, 1961, вып. 9, с. 31.
13. Казначей Б. Я., Родневская А. К. Электроосаждение сплава никель — железо из сульфамидных электролитов. — Тр. ВНИИТР, 1966, вып. 14, с. 17.
14. Ледздыня Л., Мартинсон В., Циментис З. Применение гальванопластики при изготовлении деталей технологической оснастки на Рижском опытно-конструкторском заводе. Рига: ЛатНИИЭИ, 1979, с. 11.
15. Мазина А. А. Исследование и разработка электроосаждения сплавов Ni—Co, Ni—Fe и Co—Fe из сульфамидных электролитов, их структура и свойства: Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. М., 1981, 20 с.
16. Молчалицкий А. М. Специальные гальванопластические процессы в приборостроении. В кн.: Инженерия гальванотехника в приборостроении. М.: Машиностроение, 1977, с. 344—363.
17. Петровский В. Д., Косинко В. Д. Изготовление пресс-форм для пластмасс методом гальванопластики. Киев: УкрНИИЭИ, 1969, 32 с.
18. Сидяков Г. А., Семенчук Р. В., Филимонов Ю. А. Технология гальванопластики. М.: Машиностроение, 1979, 160 с.
19. Солохина В. Г., Злобина В. В. Ускоренное наращивание металла гальванопластическим методом. Полиграфическое производство, 1967, № 6, с. 11—12.
20. Технологии машиностроения для легкой и пищевой промышленности и бытовых приборов. М.: ЦИТЭИ, 1983, вып. 9.
21. Федоров А. Л., Саламатин В. И., Юров Ю. А. Применение гальванопластики при изготовлении формообразующих поверхностей пресс-форм. Экспресс-информация о производственно-техническом опыте. Серия ХМ-9. М.: ЦИИТЭИ, 1974, № 1—74, 32 с.
22. Хазанжи В. М. Производство трафаретных пластинок. М.: Высшая школа, 1955, с. 11—38.
23. Штейнберг Б. П., Брайман Б. М. Справочник молодого инженера-конструктора. Киев, Техника, 1983.